



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

**PROPUESTA PARA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS EN EL PROCESO DE LLENADO EN
EMBOTELLADORA DE SULA**

PRESENTADO POR:

21511348 DOUGLASS BENJAMÍN VALENZUELA MEJÍA

ASESOR: ING. MARTA REYES

CAMPUS: UNITEC-SPS

JUNIO 2018

RESUMEN EJECUTIVO

La automatización de la maquinaria en las últimas décadas ha permitido que se logre la llamada producción en masa en varias industrias. Una de ellas es la alimenticia en donde se producen miles o millones de productos por hora en una sola línea de producción. Uno de los procesos más interesantes es el proceso de embotellado de bebidas como gaseosas ya que en él se sincronizan muchas maquinas diferentes, una de ellas es la que realiza el llenado el cuál se puede realizar tanto en caliente como en frío con el fin de preservar el producto. En este documento se analiza uno de los problemas que se pueden presentar en esta maquinaria ligado a uno de los equipos auxiliares necesarios para que realice su función de forma correcta y el cual es específicamente para el llenado en frio. Estamos hablando del equipo de refrigeración el cual por norma debe mantener el producto entre 3 y 7 grados centígrados siendo el ideal 5 grados, esto con el fin de mantener estable el dióxido de carbono, uno de los componentes de las bebidas carbonatadas, ya que, de no ser así, genera mucha espuma que trae como consecuencia por el tipo de llenado mecánico un mal control del volumen del producto y por calidad automáticamente es desechado.

Se presenta un análisis de la capacidad actual a la cual está diseñado el sistema de refrigeración, mostrando propuestas de mejora, las cuales se presentan de forma muy detallada junto con el análisis de cada una. Para lo cual se adelantan dos cosas:

Se podría aumentar la capacidad a través de aumentar las dimensiones del intercambiador de calor, este tiene cierta cantidad de placas y aumentando este número se aumenta el área para transferir calor lo cual da como resultado que el producto alcance temperaturas más bajas.

Instalando un visor se permitiría visualizar el nivel del tanque pulmón que almacena el refrigerante y de esa forma el instalar un sistema manual auxiliar al automático con el fin de seguir trabajando en caso de obstrucción o mal funcionamiento.

ABSTRACT

The automation of machinery in recent decades has allowed the so-called mass production to be achieved in several industries. One of them is the food industry where thousands or millions of products are produced per hour in a single production line. One of the most interesting processes is the process of bottling beverages as soft drinks, since many different machines are synchronized, one of them is the one that performs the filling, which can be done both hot and cold in order to preserve the product. This document discusses one of the problems that can occur in this machinery linked to one of the auxiliary equipment needed to perform its function correctly and which is specifically for cold filling. We are talking about the refrigeration equipment which as a rule should keep the product between 3 and 7 degrees Celsius being the ideal 5 degrees, this in order to maintain stable carbon dioxide, one of the components of carbonated drinks, since, otherwise, it generates a lot of foam which, as a consequence of the mechanical filling type, causes poor control of the volume of the product and, by quality, it is automatically discarded.

An analysis of the current capacity to which the refrigeration system is designed is presented, showing improvement proposals, which are presented in a very detailed way together with the analysis of each one. For which two things are advanced:

The capacity could be increased by increasing the dimensions of the heat exchanger, this has a certain number of plates and increasing this number increases the area to transfer heat which results in the product reaching lower temperatures. The above is explained in detail with the theory that supports it.

By installing a viewer, it would be possible to visualize the level of the lung tank that stores the refrigerant and thus install a manual auxiliary system to the automatic in order to continue working in case of obstruction or malfunction.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AUTORIZACIÓN	I
HOJA DE FIRMAS	II
RESUMEN EJECUTIVO	III
ABSTRACT	IV
RESUMEN EJECUTIVO	III
ABSTRACT	IV
I. INTRODUCCIÓN	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
2.1 ANTECEDENTES	2
2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	4
2.4 OBJETIVOS	4
2.4.1 OBJETIVO GENERAL	4
2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
2.5 JUSTIFICACIÓN	5
III. MARCO TEÓRICO	6
3.1 PRINCIPIOS DEL EMBOTELLADO	6
3.1.1 PARAMETRIZACIÓN	6
3.1.2 GASES Y SU INFLUENCIA EN EL PROCESO.....	6
3.1.3 TEMPERATURA	8
3.1.4 FASES DEL PROCESO DE EMBOTELLADO	9
3.1.4.1 <i>Evacuación</i>	10
3.1.4.2 <i>Barrido con gas del depósito de la bebida</i>	11
3.1.4.3 <i>Presurización</i>	12
3.1.4.4 <i>Llenado</i>	13
3.2 MÁQUINAS LLENADORAS	14
3.2.1 MAQUINAS LLENADORAS POR VOLUMEN	14
3.2.1.1 <i>Maquinas llenadoras según el nivel</i>	15

3.2.1.2 Campos de aplicación de las Máquinas llenadoras volumétricas	16
3.3 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN	18
3.3.1 CICLO DE REFRIGERACIÓN	18
3.3.2 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE COMPRESIÓN DE VAPOR.....	20
3.3.2.1 Compresores.....	20
3.3.2.2 Condensadores	20
3.3.2.3 Evaporadores.....	21
3.3.2.4 Receptor de Alta Presión	22
3.3.2.4 Receptor de Baja Presión.....	23
3.3.2.5 Filtros y otros elementos del sistema.....	23
3.3.2.6 Sistema Eléctrico.....	25
IV. METODOLOGÍA	28
4.1 HIPÓTESIS Y VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	28
4.1.1 VARIABLES INDEPENDIENTES	29
4.1.2 VARIABLES DEPENDIENTES.....	29
4.2 ENFOQUE Y MÉTODOS.....	29
4.3 TÉCNICA E INSTRUMENTACIÓN	30
4.3.1 OBSERVACIÓN	30
4.3.2 CONSULTAS Y ENTREVISTAS	31
4.3.3 TECNOLOGÍAS.....	32
4.4 FUENTES DE INFORMACIÓN	32
4.4.1 FUENTES PRIMARIAS	33
4.4.2 FUENTES SECUNDARIAS	33
4.5 LIMITACIONES.....	34
4.6 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	35
V. RESULTADOS Y ANÁLISIS	36
5.1 VERIFICACIÓN DE PROBLEMAS EN EL LLENADO	36
5.1.1 PRUEBAS DE CALIDAD PROCESO DE LLENADO	37
5.1.1 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EMSULA.....	40
5.2 CALCULO DE LA DEMANDA NECESARIA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	44
5.3 CALCULO DE LA OFERTA MÁXIMA	50

5.4 INEFICIENCIAS	52
5.4.1 PROBLEMAS EN LOS COMPRESORES	52
5.4.2 PROBLEMAS EN LOS CONDENSADORES	54
5.4.3 DEFICIENCIA EN LA CAPACIDAD INSTALADA DEL AZÚCAR	55
5.4.4 PROBLEMAS DE CORROSIÓN.....	55
5.4.4 PROBLEMAS EN EL RECIBIDOR	56
5.5 MEJORAS A IMPLEMENTAR.....	56
5.5.1 PROPUESTA DE MEJORA A LA ETAPA DE COMPRESIÓN	56
5.5.2 PROPUESTA DE MEJORA A LA ETAPA DE CONDENSACIÓN	57
5.5.3 PROPUESTA DE MEJORA A LA ETAPA DE INTERCAMBIO DE CALOR	58
5.5.4 PROPUESTA DE MEJORA AL SISTEMA EN GENERAL	60
5.6 TRABAJOS REALIZADOS Y RESULTADOS	62
VI. CONCLUSIONES.....	65
VII. RECOMENDACIONES.....	66
VIII. BIBLIOGRAFÍA	67
IX. ANEXOS.....	70

ÍNDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ley de Dalton.....	7
Ilustración 2. Presión del CO2 vs Temperatura.....	9
Ilustración 3. Angulo de llenado de una botella.....	10
Ilustración 4. Evacuación.....	10
Ilustración 5. Fases en el proceso de embotellado.....	11
Ilustración 6. Barrido con gas.....	12
Ilustración 7. Presurización de la botella.....	13
Ilustración 8. Sistema sin tubos de llenado vs Sistema con tubos de llenado.....	13
Ilustración 9. Mapa Clasificación de las Máquinas Llenadoras.....	14
Ilustración 10. Sistema de llenado de contrapresión.....	15
Ilustración 11. Esquema y diagrama T-s para el ciclo de refrigeración por compresión de vapor..	19
Ilustración 12. Compresor Vilter industrial.....	20
Ilustración 13. Ciclo de condensador.....	20
Ilustración 14. Condensador Industrial.....	21
Ilustración 15. Consumidor Industrial.....	22
Ilustración 16. Tanque de refrigerante industrial.....	23
Ilustración 17. Función del receptor de baja presión	23
Ilustración 18. Filtros para refrigeración industrial.....	24
Ilustración 19. Valvula de globo industrial.....	24
Ilustración 20. Válvula antirretorno Emsula.....	25
Ilustración 21. PLC Allen Bradley.....	25
Ilustración 22. SCADA Anton Para Emsula.....	26
Ilustración 23. Sensores Industriales.....	27

Ilustración 24. Enfoque de investigación.....	30
Ilustración 25. Cronograma y diagrama de Gantt.....	33
Ilustración 26. Diagrama de flujo del proceso de envasado.....	34
Ilustración 27. Balanza digital.....	35
Ilustración 28. Sistema Omnivisión.....	35
Ilustración 29. Botellas para pruebas.....	36
Ilustración 30. Dispositivo para medir el CO2 en las bebidas carbonatadas.....	36
Ilustración 31. Desgacificador.....	37
Ilustración 32. Medidor de Brix.....	37
Ilustración 33. Diagrama de Sala de compresores.....	38
Ilustración 34. Condensador #2 EMSULA.....	39
Ilustración 35. Ventiladoras de Condensador #2 EMSULA.....	39
Ilustración 36. Vista lateral intercambiador de calor Línea #1 EMSULA.....	40
Ilustración 37. Placas intercambiador de calor Línea #1 Emsula.....	40
Ilustración 38. Receptor de alta presión EMSULA.....	41
Ilustración 39. Receptor de baja presión EMSULA.....	41
Ilustración 40. Válvula Antirretorno de gravedad.....	49
Ilustración 41. Compresor Vilter #1 Desmantelado.....	49
Ilustración 42. Salida de aire de condensados.....	50
Ilustración 43. Tuberías y elementos corroídos.....	51
Ilustración 44. Intercambiador de calor EMSULA.....	53
Ilustración 45. Control del receptor de amoniaco de baja.....	55
Ilustración 46. Comparación temperatura antes VS temperatura después.....	56
Ilustración 47. Comparación paros de abril VS mayo refrigeración L3.....	56
Ilustración 48. Comparación temperatura antes y después de la modificación.....	57

Ilustración 49. Comparación paros de abril VS mayo refrigeración L1.....57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comportamiento de llenado.....	8
Tabla 2. Campos de aplicación de Llenadoras volumétricas 1.....	16
Tabla 3. Campos de aplicación de Llenadoras volumétricas 2.....	17
Tabla 4. Ejemplos de campos de aplicación de Llenadoras en la industria alimenticia.....	18
Tabla 5. Matriz de congruencia de investigación	28
Tabla 6. Capacidad de consumo Línea #1 EMSULA.....	42
Tabla 7. Capacidad instalada en el Intercambiador Línea #1.....	42
Tabla 8. Capacidad de consumo Línea #2 EMSULA.....	42
Tabla 9. Capacidad instalada en el Intercambiador Línea #2.....	43
Tabla 10. Capacidad de consumo Línea #3 EMSULA.....	43
Tabla 11. Capacidad instalada en el Intercambiador Línea #3.....	43
Tabla 12. Capacidad de consumo Línea #4 EMSULA.....	44
Tabla 13. Capacidad instalada en el Intercambiador Línea #4.....	44
Tabla 14. Capacidad de consumo Línea #7 EMSULA.....	44
Tabla 15. Capacidad instalada en el Intercambiador Línea #7.....	44
Tabla 16. Capacidad de consumo Azúcar.....	45
Tabla 17. Capacidad instalada en el Intercambiador Azúcar.....	45
Tabla 18. Capacidad de consumo Total EMSULA.....	45
Tabla 19. Capacidad Condensador 1 EMSULA.....	46
Tabla 20. Capacidad Condensador 2 EMSULA.....	46
Tabla 21. Capacidad Compresores EMSULA.....	46
Tabla 22. Especificaciones Compresores EMSULA.....	47
Tabla 23. Capacidad Intercambiadores de calor EMSULA.....	47

Tabla 24. Costos de las mejoras a la etapa de compresión.....	57
Tabla 25. Costos de las mejoras a la etapa de condensación.....	58
Tabla 26. Detalle de costos del Sistema de retorno de condensación.....	58
Tabla 27. Detalle de costos del Sistema de retorno de condensación.....	59
Tabla 28. Costos de las mejoras del Sistema en general.....	61
Tabla 29. Detalle de costos de la instalación de la Scada.....	61

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1- Cantidad de CO2 en Agua.....	6
Ecuación 2- Ley de Dalton en Envasado Carbonatados.....	7
Ecuación 3- Ley de Gay Lussac.....	8

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Diagrama del flujo del proceso EMSULA.....	63
Anexo 2. Especificaciones compresores Vilter.....	64
Anexo 3. Peligrosidad del Amoniaco.....	64
Anexo 4. Llenadora L1.....	65
Anexo 5. Diagrama de flujo del producto L3 EMSULA.....	65
Anexo 6. Comparación Paros abril vs mayo proceso de llenado L1.....	66
Anexo 7. Comparación Paros abril vs mayo proceso de llenado L3.....	66

GLOSARIO

- 1) Amoníaco: Gas incoloro y de olor desagradable compuesto por hidrogeno y nitrógeno (NH_3) que se usa en la industria de refrigeración, la industria alimenticia, entre otros.
- 2) CO_2 : Gas incoloro conocido de forma técnica como Dióxido de Carbono y uno de sus usos es preservar disminuyendo el pH en las gaseosas.
- 3) Condensador: Dispositivo en donde se cambia de estado el refrigerante de vapor a líquido.
- 4) Compresor: Máquina que reduce a menor volumen, aumentando la presión de los gases.
- 5) Envasado: Proceso que consiste en el llenado de un producto líquido en recipientes como botellas.
- 6) Filtro: Dispositivo para eliminar las impurezas en el aire comprimido, reteniendo la suciedad.
- 7) Intercambiador de calor: Dispositivo que está conformado por placas en el que se aplica la ley de la termodinámica que nos dice que dos cuerpos en este caso fluidos se transfieren calor desde el de mayor temperatura al de menor, también llamado evaporador.
- 8) Manómetro: Instrumento que nos permite medir la presión manométrica.
- 9) Pérdida de presión: Diferencia negativa en la presión normal de un aparato o máquina.
- 10) Presión de cierre: Es aquella presión a la cual se cierra la válvula una vez desaparecida la causa que motivó su apertura.
- 11) Presión de descarga: presión a la cual es entregada en la salida un gas refrigerante en el compresor.
- 12) Presión de succión: Presión que tiene un gas refrigerante al momento de la admisión en el compresor.
- 13) Purga: Escape al exterior del aire comprimido de los elementos neumáticos.
- 14) Válvula de expansión: Baja la presión alta del líquido refrigerante dando como resultado a la vez de disminución de temperatura.
- 15) Válvulas de solenoide: Válvula en la que la fuerza generada por la bobina al conectarla a la corriente debe vencer la presión diferencial del fluido

I. INTRODUCCIÓN

Embotelladora de Sula, EMSULA, es una empresa dedicada a embotellar bebidas carbonatadas y pasteurizadas de PEPSICO como lo es Pepsi, 7Up, Mirinda, Gatorade, Adrenaline, entre otros, además de sus marcas propias como Montana, Link, Agua zen y otros. Para el presente proyecto de graduación, desarrollado en EMSULA, se propuso una solución a un problema de la empresa, en este caso la Líneas de producción, en donde se llenan bebidas carbonatadas en envase de vidrio, porque hay pérdidas excesivas de productos y paros de producción por fallas en el proceso de llenado.

El trabajo consistió en una investigación y análisis de los elementos que influyen en el proceso de llenado y una vez identificado que el problema era debido al sistema de refrigeración se comenzó a analizar el mismo detallando el ciclo y analizando cada elemento de forma que al final se pudiera dar una solución eficiente y eficaz.

Algunos riesgos que se tienen que tomar en cuenta son las temperaturas y presiones que se manejan para transportar el refrigerante R-717, conocido como Amoníaco. La manipulación de este es altamente peligrosa ya que este es tóxico y un mal manejo del mismo podría causar muertes o serios daños a la salud.

Se plasmó un modelo en solidworks para una de las soluciones, esto con el fin de mostrar gráficamente que no existen problemas de espacios además de dar una idea más clara de cómo funciona y se detallaron cada una de las propuestas con su análisis respectivo.

Cada solución planteada se respaldó a través de la teoría de termodinámica, además de pruebas realizadas con buenos resultados de los cuales se llegan a conclusiones y luego se mencionan recomendaciones.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 ANTECEDENTES

La empresa EMSULA tiene como visión el mejoramiento continuo y la innovación permanente lo que ha permitido que a través de los años haya crecido siguiendo su misión de consolidarse como el mejor embotellador y distribuidor de bebidas que opera en Latinoamérica. Este crecimiento incluye la expansión de sus instalaciones entre ellas la planta de producción, instalando nuevas líneas para embotellar nuevos productos. En estas líneas podemos encontrar diversos equipos para la producción: pasteurizadores, paletizadoras, lavadoras, llenadoras, etiquetadoras, entre otras.

El crecimiento viene ligado con nuevos desafíos y es que la capacidad de sistemas que auxilian los procesos principales también necesitan una renovación de forma que puedan cumplir con la nueva demanda que exige más de la capacidad ya instalada. Uno de esos sistemas auxiliares es el Sistema de Refrigeración, el cual, debido a la creciente demanda no cumple con la necesidad cuando los equipos operan a su máxima velocidad de trabajo, lo que ha conllevado problemas específicamente en la máquina llenadora de la Líneas destinada al llenado de envases de vidrio.

El sistema de refrigeración usa gas Amoniaco el cuál entra condensado (en forma líquida) a los intercambiadores de calor que están conformados por placas, en donde, por un lado pasa el producto y por el otro el Amoniaco que extrae el calor del producto manteniéndolo entre 3 y 7 grados que son los necesarios para mantener estable el CO₂, debido a la transferencia de calor el amoniaco sale en forma de vapor del intercambiador a una trampa de vapor la cual separa el gas del líquido, en caso de que no se haya evaporado completamente, el líquido se regresa al tanque y el gas es mandado a los compresores en donde se aumenta la presión y la temperatura, este gas comprimido pasa por los condensadores en donde por medio de ventiladores y agua se condensa y por gravedad se almacena en el tanque de amoniaco repitiendo el proceso de un circuito cerrado.

Los problemas de llenado son debido a que el CO₂ hace muchas burbujas provocando un volumen variable en el producto, esto se origina por inestabilidad del mismo ya que no se logra enfriar el producto lo suficiente. Lo anterior genera grandes pérdidas como desechar

producto y paros forzados en el proceso por eso es de vital importancia realizar mejoras al sistema de refrigeración.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la industria embotelladora se maneja varios procesos desde la fabricación de la preforma, la fabricación del jarabe, la mezcla ideal para el sabor característico del producto Pepsi, hasta procesos que se llevan a cabo en las líneas de producción para el embotellado como el soplado, el empaquetado siendo el principal el llenado pues es el de mayor complejidad.

El principal problema que se encontró en la Líneas de producción de EMSULA fue por el mal funcionamiento de la etapa de llenado, puesto que este trabaja de forma mecánica con una válvula de nivel a presión y al haber una estabilidad en el CO₂ la presión generada por las burbujas hace que la botella pase sin estar completamente llena y posteriormente por este problema es desechada. El CO₂ no es completamente estable debido a que no se alcanza la temperatura necesaria debido a problemas con la refrigeración.

El problema del sistema de refrigeración es que no se tiene un sistema de purgas en los consumidores (en este caso intercambiadores de calor por donde pasa el producto) y pues a veces se atasca el sistema mecánico que posee el tanque no dejando circular el refrigerante lo cual inhabilita el sistema.

Sumado a lo anterior es que no se posee una forma de saber cuál es el nivel del tanque por lo cual se necesita instalar un visor de nivel para evitar problemas como: paros porque está vacío o un peligro de explosión por exceso.

Otro problema es que la capacidad instalada de refrigeración no cubre la demanda con ciertas presentaciones nuevas que no estaban contempladas al momento de su instalación, lo cual exige que de alguna forma se busque el aumentar la capacidad.

2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Después de haber conocido bien el equipo y sistema de refrigeración, además de haber investigado y comprendido su funcionamiento y capacidad a través de manuales de equipo y auditorias anteriores surgieron las siguientes preguntas:

1. ¿A qué se deben los paros involuntarios en la etapa de llenado de las Líneas #1 y #3 de producción de EMSULA?
2. ¿Qué factores influyen en el control de la etapa de llenado de las Líneas #1 y #3 de EMSULA?
3. ¿Cómo se pueden reducir los paros por averías en el equipo de Llenado de EMSULA?
4. ¿Cuál es la capacidad necesaria de refrigeración para cubrir la demanda de las líneas de producción de EMSULA?
5. ¿Cuáles son las mejoras que se podrían realizar al sistema de refrigeración de EMSULA?

2.4 OBJETIVOS




Según Galpin (2013) "La falta de objetivos origina problemas. Sin objetivos claros, las personas normalmente harán lo siguiente: vagar sin metas buscando tareas que les mantengan ocupados, correr de una tarea a otra sin terminar ninguna o esperar a que le asignen tareas"

A continuación, se presentan tanto el objetivo general y los objetivos específicos:

2.4.1 OBJETIVO GENERAL

Efectuar mejoras en el proceso de embotellado y así aumentar la eficiencia del mismo, obteniendo mayor eficacia en el proceso de llenado de bebidas carbonatadas en las Líneas #1 y #3 de producción.

2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

-  Analizar la causa de los paros involuntarios en la etapa de llenado de las Líneas #1 y #3 de producción de EMSULA.
-  Enumerar los factores que influyen en el control de la etapa de Llenado de las líneas de producción #1 y #3 de EMSULA.
-  Explicar de qué forma se pueden reducir los paros por averías en el equipo de llenado de EMSULA.

- ✚ Determinar la capacidad necesaria en el sistema de refrigeración para cubrir la demanda de enfriamiento de la Líneas de Producción.
- ✚ Proponer mejoras a las etapas de compresión, condensación e intercambio de calor del Sistema de refrigeración de EMSULA para aumentar la capacidad del mismo.

2.5 JUSTIFICACIÓN

Los sistemas auxiliares en un proceso de producción son de vital importancia ya que un ineficiente funcionamiento de estos puede condicionar los sistemas principales, incluso ocasionando fallas y paros de producción que conllevan pérdidas monetarias significativas.

En este momento EMSULA está teniendo problemas con el sistema de refrigeración lo que ha provocado que se tengan paros involuntarios en la Líneas en ocasiones en otras líneas lo que implica dejar de envasar miles de botellas cada hora. El proyecto busca solucionar este problema a través de propuestas que se pretenden implementar a corto y mediano plazo luego de realizar un análisis exhaustivo del sistema fundamentado de la teoría de termodinámica, mecánica de fluidos y demás áreas correspondientes.

Con este proyecto no solo se pretende reducir las pérdidas que están presentes en el proceso de llenado sino también el alargar la vida útil de varios elementos como los Compresores Vilter que están con sobreesfuerzo por un funcionamiento ineficiente del sistema o por una mala praxis en el momento de la instalación.

Además como bien se conoce el gas Amoniaco NH_3 es mortal para la salud del ser humano, y por una ineficiencia puede dar lugar a fallas como una fuga lo cual podría provocar hasta muertes de personal, por eso con el proyecto se busca aumentar la eficiencia del sistema y reducir los peligros ya que mejoras podrían incluir equipo para un mejor control y monitoreo del sistema en etapas fundamentales e incluso suplir una intervención humana en actividades extremadamente peligrosas de no salir conforme a lo planeado.

En una empresa tan importante como EMSULA y debido a la enorme cantidad de producción a cada hora el tener un funcionamiento óptimo en cada uno de sus sistemas es muy importante ya que una ineficacia incluso por corto tiempo representa pérdidas millonarias por eso el proyecto es de suma importancia para la empresa porque permitirá un mayor control y eficiencia con el Sistema de Refrigeración.

III. MARCO TEÓRICO

“Un proyecto es un esfuerzo para lograr un objetivo específico por medio de una serie particular de tareas interrelacionadas y el uso eficaz de los recursos” (Gido & Clements, 2012, p. 4).

3.1 PRINCIPIOS DEL EMBOTELLADO

3.1.1 PARAMETRIZACIÓN

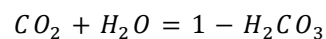
La optimización del rendimiento en el proceso de embotellado se ve influenciada por diversos factores que dependen del tipo de producto.

Blüml & Fischer (2006) Afirman: “Los componentes gaseosos contenidos en la bebida y la influencia del gas durante el proceso de llenado, la presión y la variación de presión durante el embotellado, a temperatura del producto y su viscosidad” (p. 247).

Si se realiza el análisis de estos parámetros y se hacen las modificaciones pertinentes de una u otra variable, dependiendo de la eventualidad, es posible optimizar los datos y maximizar cantidad de producción manteniendo los estándares de calidad.

3.1.2 GASES Y SU INFLUENCIA EN EL PROCESO

Durante se realiza el llenado el gas está presente en diferentes fases: en bebidas carbonatadas por ejemplo se usa anhídrido carbónico (CO₂) el cual se usa en gran cantidad, además de usarlo como un gas de presurización para el deposito del producto o como limpiador para los envases que están antes de llenarse. Bajo condiciones de presión este gas se disuelve en el agua con mayor solubilidad que otros gases como el oxígeno o el nitrógeno. La cantidad del CO₂ que se disuelve en agua depende de la presión y temperatura y según la siguiente ecuación se forma el gas carbónico:



Ecuación 1- Cantidad de CO₂ en Agua

Fuente: (Blüml & Fischer, 2006)

Debido a que dentro de la botella es un sistema cerrado, después de cierto tiempo hay equilibrio entre la concentración de los gases en el líquido y las respectivas presiones parciales en fase gaseosa. Siguiendo la Ley de Dalton “La presión total de una mezcla gaseosa, que ocupa un volumen V, es la suma de las presiones parciales de los gases presentes. La presión parcial de cada gas es la presión que este ejercería si fuera el único gas presente en dicho volumen”(Atkins & Jones, 2006, p. 141).

$$P_{total} = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_i$$

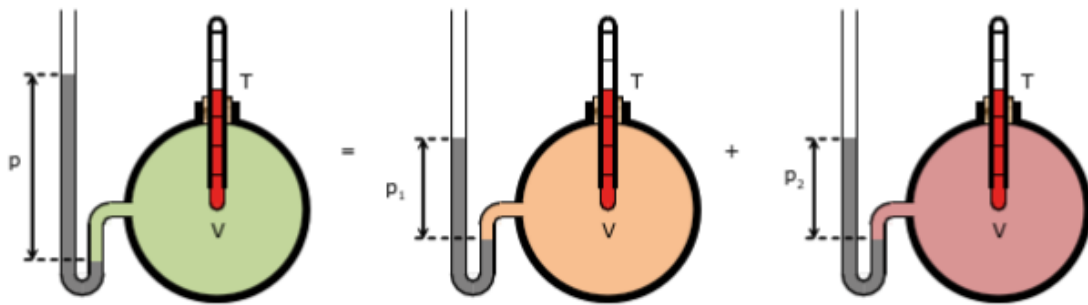


Ilustración 1. Ley de Dalton

Fuente: (González Sierra, 2012)

Asimismo, la presión total dentro de la botella resulta la suma de todas las presiones parciales de los gases que la componen:

$$P_{tot} = \sum_{i=1}^n P_i = P_{CO_2} + P_{O_2} + P_{N_2} + \dots$$

Ecuación 2- Ley de Dalton en Envasado Carbonatados

Fuente: (Blüml & Fischer, 2006)

Para determinar si un gas está en equilibrio podemos usar la Ley de Henry, así se hacen los cálculos con una temperatura y presión constante:

La solubilidad varia de los gases expresada por el coeficiente de absorción varía según los ingredientes de la bebida por ejemplo en las bebidas sin alcohol la solubilidad se determina principalmente por el número de Brix.

Hoy día podemos medir este dulzor de las bebidas; las cuantificamos con un sacarímetro que mide la densidad (o gravedad específica) de líquidos o, más fácilmente, con un refractómetro. A esta medida la llamamos grados Brix. El Refractómetro es el instrumento que se usa para la medición de azúcar y de sal, existe en forma digital y de mano. Estos equipos están configurados para utilizar la escala Brix. Los grados Brix (símbolo Bx) sirven para determinar el cociente total de sacarosa o sal disuelta en un líquido, es una medida de la concentración de azúcar en una disolución. Una solución de 50 Bx contiene 50 gramos de azúcar de mesa (sacarosa), por cien gramos de líquido. (Navarrete, 2016, p. 160)

Tabla 1. Comportamiento de llenado

Evaluación del comportamiento de llenado a través de				
<ul style="list-style-type: none"> ● pérdidas del producto durante el llenado con fases breves de descarga de presión ● fases de descarga necesarias para un llenado sin pérdida de producto 				
depende de <ul style="list-style-type: none"> ● cantidad de burbujas ● tamaño de las burbujas ● crecimiento de las burbujas ● capacidad de formación de espuma 			depende de <ul style="list-style-type: none"> ● espacio libre encima del nivel de la bebida 	
depende de magnitudes intrínsecas de las sustancias <ul style="list-style-type: none"> • coeficiente de absorción • tensión entre superficies de separación • viscosidad • densidad 	depende de parámetros de operación <ul style="list-style-type: none"> • temperatura <ul style="list-style-type: none"> - carbonatación - llenado • contenido de CO₂ • presión de llenado • cantidad de CO₂ en gas <ul style="list-style-type: none"> - unidad de chorro - depósito de reserva - depósito anular - botella • grado de desgasificación <ul style="list-style-type: none"> - agua - jarabe 	<ul style="list-style-type: none"> • carbonatación <ul style="list-style-type: none"> - ajuste - tiempos de permanencia • limpieza de botellas • tratamiento previo de botellas • tiempos de llenado <ul style="list-style-type: none"> - llenado - 1era estabilización - 1era descarga de presión - 2da estabilización - 2da descarga de presión • nivel de llenado <ul style="list-style-type: none"> - depósito anular - botella 	depende de magnitudes geométricas <ul style="list-style-type: none"> • geometría de llenadora <ul style="list-style-type: none"> - válvula de llenado - tubo de retorno de gas - diámetro de orificio de tobera de descarga • geometría de equipo de carbonatación • forma de botella • tamaño de botella 	depende de calidad de acabado de recipientes <ul style="list-style-type: none"> • acabado de superficies • mojabilidad
depende de <ul style="list-style-type: none"> • ingredientes de bebida 				

Fuente: (Blüml & Fischer, 2006)

3.1.3 TEMPERATURA

Existen tres leyes que rigen a los gases que son la ley de Boyle, Charles y Gay Lussac. Al ser necesario un volumen constante en el llenado se aplica la Ley de Gay Lussac que nos dice "A Volumen constante, la presión absoluta de un gas es directamente proporcional a la temperatura absoluta: $P \propto T$ " (Giancoli, 2006, p. 343).

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Ecuación 3- Ley de Gay Lussac

Fuente: (Giancoli, 2006)

La solubilidad del CO₂ mejora a menor temperatura, esto hace que haya menor presión de saturación en la bebida. Por ende, afecta directamente el proceso de llenado pues requiere de tiempos de presurización y descarga menos largos, además a medida la temperatura baja también desciende el consumo de gas.

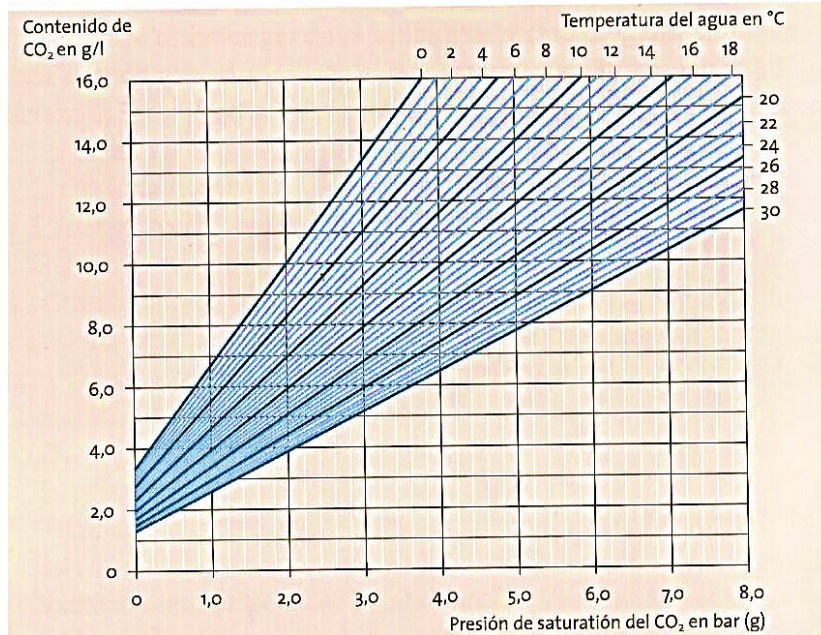


Ilustración 2. Presión del CO₂ vs Temperatura

Fuente: (Blüml & Fischer, 2006)

3.1.4 FASES DEL PROCESO DE EMBOTELLADO

Las propiedades descritas del producto y las propiedades del tipo de envase constituyen una base para el diseño del proceso de llenado, en este diseño no solo se debe tener en cuenta las cantidades de líquido correcto prescrita en las leyes sino también ver de qué manera el proceso de llenado no modifique las propiedades del producto. Existen prioridades en la planificación del proceso de llenado como las fases del procedimiento del llenado, características que posee el producto y las exigencias que presenta el envase.

Blüml & Fischer (2006) Afirman como principales exigencias al llenado: "Mantenimiento de la presión de saturación en bebidas con CO₂, menor absorción de oxígeno por arte del producto durante el proceso, mantenimiento de la homogeneidad del producto en caso de presentarse partículas, logro de alta precisión en el llenado, observación de las exigencias microbiológicas durante el llenado y eliminación del goteo al retirar botellas" (p. 260).

Existen diferentes sistemas de llenado, pero en general es posible hacer pasos como:

- ✚ Evacuación,
- ✚ Barrido con gas,
- ✚ Presurización con gas,
- ✚ Llenado,

Descarga de presión.

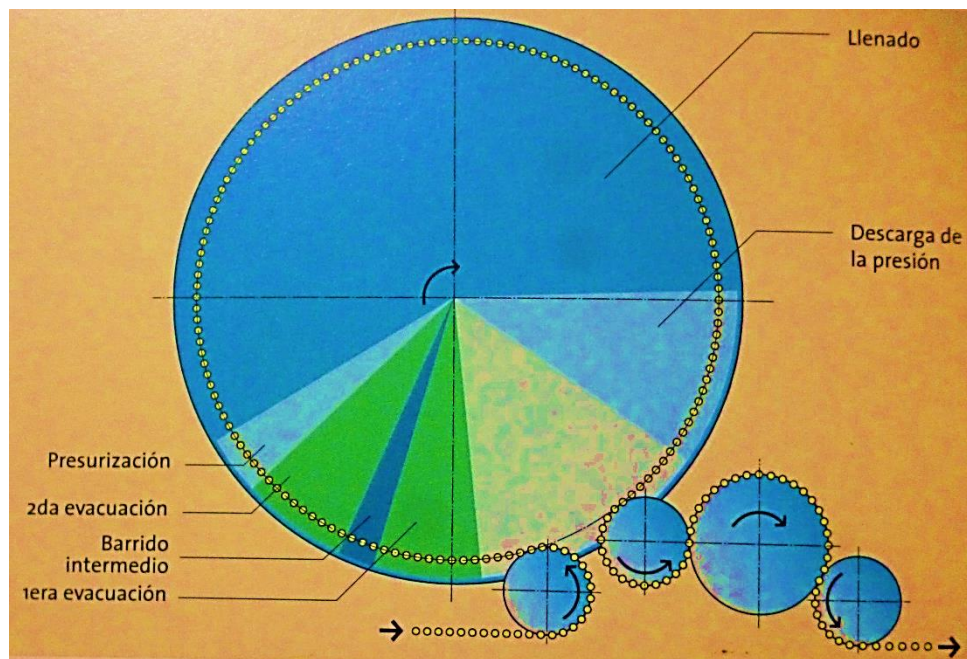


Ilustración 3. Angulo de llenado de una botella

Fuente: (Blüml & Fischer, 2006)

3.1.4.1 Evacuación

Es un procedimiento que se realiza en llenado de botellas de vidrio para sacar el aire dentro de la misma. "El objetivo es mantener lo más bajo posible el contenido de aire y por lo tanto el contenido de oxígeno dentro de la botella durante el llenado" (Blüml & Fischer, 2006, p. 263)

Dependiendo de cuál sea proporcionalmente el vacío ajustado, el aire presente en la botella es evacuado por aspiración.

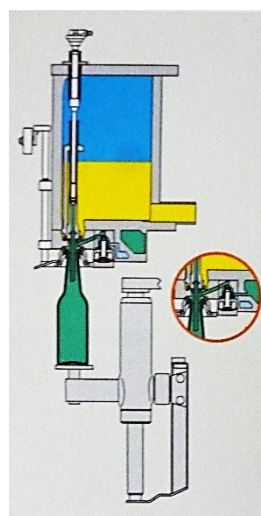


Ilustración 4. Evacuación

Fuente: (Blüml & Fischer, 2006)

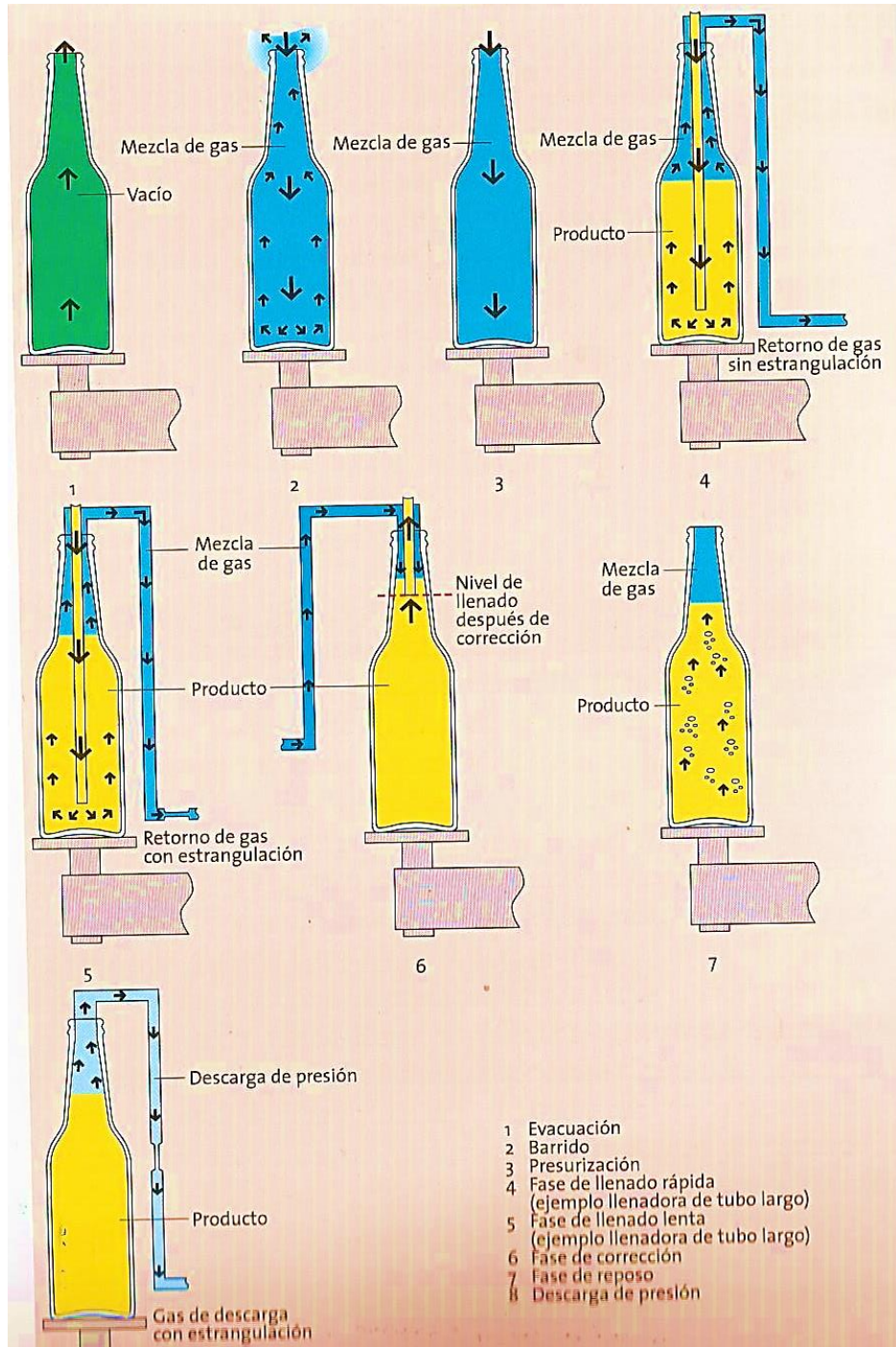


Ilustración 5. Fases en el proceso de embotellado

Fuente: (Blüml & Fischer, 2006)

3.1.4.2 Barrido con gas del depósito de la bebida

“En el caso de las botellas plásticas, la atmosfera con bajo contenido de oxigeno se obtiene mediante una fase de barrido de la botella antes de su presurización y llenado” (Blüml & Fischer, 2006, p. 265).

Este es un procedimiento que se puede comprender mejor viendo el proceso puesto que básicamente consiste en un disparo de gas para realizar un barrido.

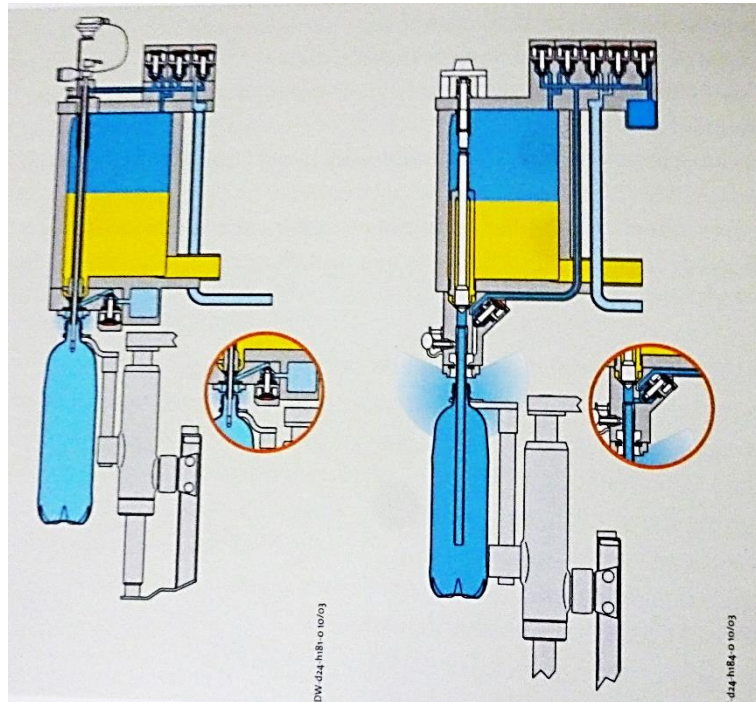


Ilustración 6. Barrido con gas

Fuente: (Blüml & Fischer, 2006)

3.1.4.3 Presurización

Se trata de un ciclo del proceso de llenado necesario para bebidas carbonatadas específicamente cuando hablamos de sistemas por contrapresión. Debido a que hay una diferencia de presión entre el gas del depósito y el de la botella, el gas entra a la botella a través del tubo de retorno de gas hasta lograr una compensación de la presión.

Presurizar se refiere a la acción que se desarrolla para resguardar, en un cierto ámbito, las condiciones normales de presión atmosférica, aun cuando en el exterior dicha presión sea muy diferente.

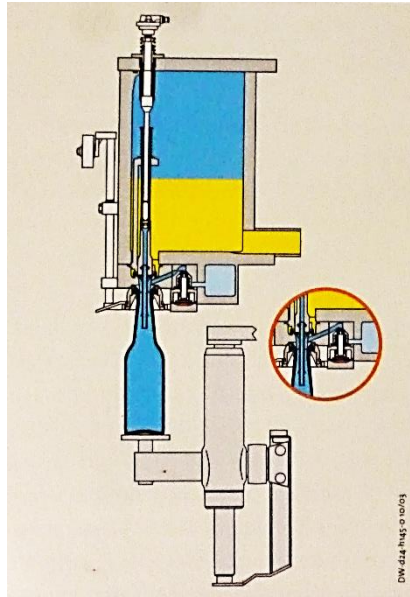


Ilustración 7. Presurización de la botella

Fuente: (Blüml & Fischer, 2006)

3.1.4.4 Llenado

Blüml & Fischer (2006) Mencionan que básicamente hay sistemas desprovistos de tubos de llenado en los que un manguito espiral o deflector dirige el líquido a la pared interior de la botella con el fin de evitar burbujas y en los sistemas con tubo de llenado básicamente lo que hay es un retorno que conduce ese gas de nuevo al depósito para evitar las burbujas.

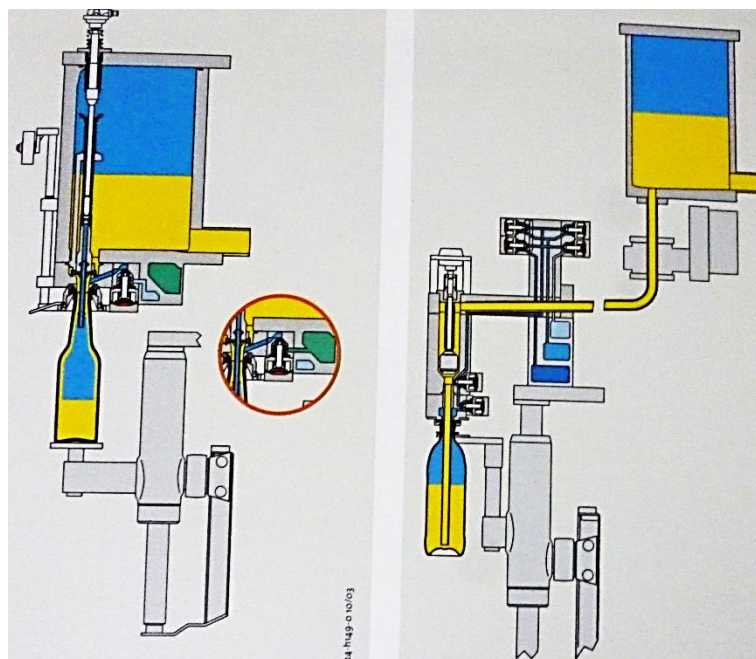


Ilustración 8. Sistema sin tubos de llenado vs Sistema con tubos de llenado

Fuente: (Blüml & Fischer, 2006)

3.2 MÁQUINAS LLENADORAS

Las llenadoras son máquinas de envasado cuya función es introducir una cantidad determinada de producto en un recipiente mediante el uso de ciertas tecnologías electromecánicas.

Blüml & Fischer, (2006) Menciona que según la naturaleza del producto, características del mismo y demás elementos ligados a él, además de la velocidad de producción que se necesita, se seleccionara a máquina más adecuada.

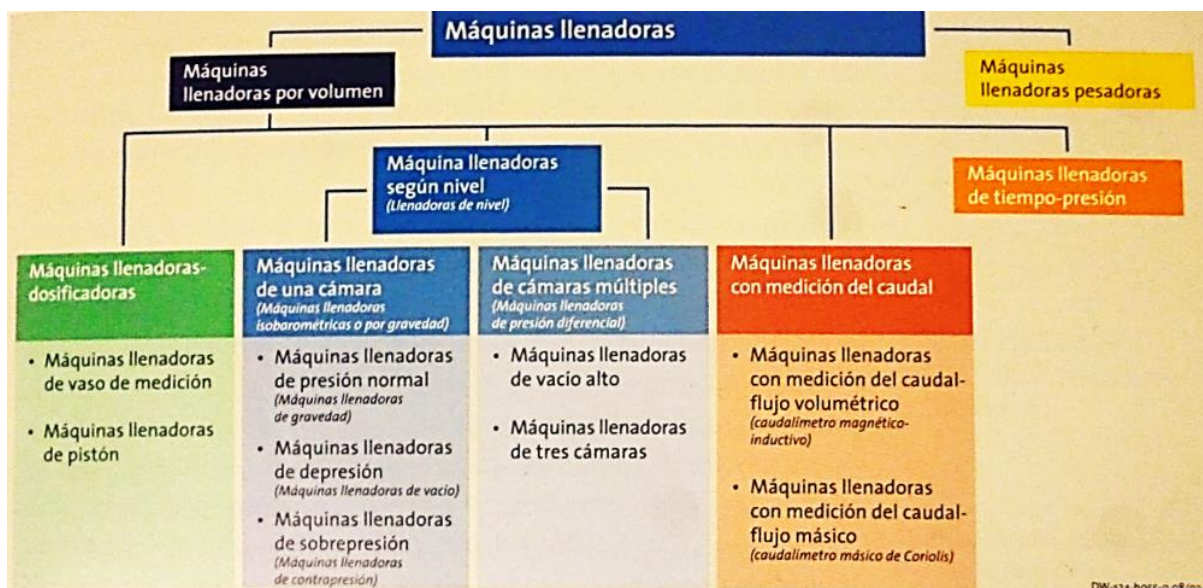


Ilustración 9. Mapa Clasificación de las Máquinas Llenadoras

Fuente: (Blüml & Fischer, 2006)

Las maquinas llenadoras se diferencian según dos procesos de dosificación los cuales son:

- ✚ Maquinas llenadoras por volumen
- ✚ Maquinas llenadoras pesadoras

3.2.1 MAQUINAS LLENADORAS POR VOLUMEN

Funcionan con el principio volumétrico de dosificación y las podemos dividir en:

- ✚ Dosificadoras
- ✚ Llenadoras según el nivel
- ✚ Temporizadas
- ✚ Medición de caudal

“La dosificación volumétrica suele emplearse para el llenado de líquidos, pastas, polvos y alimentos particionados. Este sistema de dosificación no tiene en cuenta la densidad del producto, sino que lo que importa es el volumen exacto que este ocupa” (Baquero & Pérez, 2017, p. 52)

3.2.1.1 Maquinas llenadoras según el nivel

Maquinas cuyo funcionamiento se basa en emplear el contenido cubico del envase como recipiente para medir y se subdividen en dos grupos, las llenadoras de una Cámara y de cámaras múltiples.

Las llenadoras de una cámara también se denominan de isobáricas, estas básicamente funcionan de forma mecánica porque el producto ingresa solamente por gravedad, la velocidad de llenado es determinada por la altura de la caída y por el diámetro del tubo de llenado. Estas a su vez tienen tres subgrupos, llenadoras isobaro métricas, llenadoras de depresión y llenadoras de sobrepresión.

Las llenadoras de sobrepresión también llamadas llenadoras de contrapresión hacen el proceso de presurización, el cual consiste en aumentar la presión dentro del envase, esto con el fin de igualar las presiones con respecto al sistema de llenado para evitar pérdidas del gas.

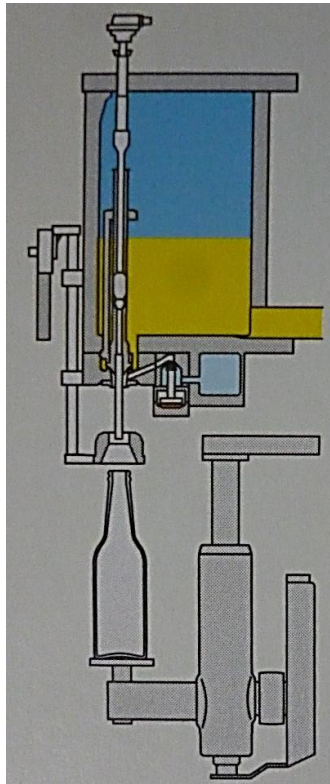


Ilustración 10. Sistema de llenado de contrapresión

Fuente: (Blüml & Fischer, 2006)

Blüml & Fischer (2006) Mencionan que los campos de aplicación del sistema de llenado de contrapresión: sirven para embotellar producto de CO₂ tales como cerveza, gaseosas, agua, mineral, vino espumoso y bebidas refrescantes.

3.2.1.2 Campos de aplicación de las Máquinas llenadoras volumétricas

Tabla 2. Campos de aplicación de Llenadoras volumétricas 1

Llenadoras	Máquinas llenadoras por volumen (1)				
	Máquinas llenadoras según nivel (también: llenadoras de nivel)				
	Llenadoras de una cámara			Llenadoras de cámaras múltiples	
	Llenadoras de presión normal	Llenadoras de depresión (también: llenadoras de baja presión)	Llenadoras de sobrepresión (también: llenadoras de contrapresión)	Llenadora de vacío alto	Llenadoras de tres cámaras
Rendimiento [env./h]	hasta 72.000	hasta 60.000	hasta 72.000	hasta 30.000	hasta 72.000
Puestos de llenado	16 - 193	16 - 192	16 - 192	12 - 100	16 - 192
Margen de dosificación [cm ³]	hasta 5.000	hasta 2.500	hasta 3.000	hasta 5.000	hasta 2.500
Precisión de dosificación	hasta 1,3 mm	hasta 1,0 mm	hasta 1,0 mm	hasta 1,0 mm	hasta 1,3 mm
Presión en depósito de producto:	presión atmosférica	depresión leve	sobrepresión	presión atmosférica	sobrepresión
Presión dentro de medio de envase:	presión atmosférica	depresión leve	sobrepresión	depresión alta	sobrepresión
Dosificación y llenado con:	misma presión dentro del medio de envase y depósito de producto			presiones diferentes	misma presión (y presión diferencial)
Productos a envasar					
muy líquidos	++	++	++	++	++
muy espesos	-	+	+	++	-
con partículas sólidas	-	-	-	-	-
espumante	+	+	++	-	++
con gas	-	-	++	-	++
Ejemplos típicos de productos	vinagre zumos de frutas leche bebidas espirituosas agua vino	zumos de frutas leche jarabe salsas bebidas espirituosas vino	cerveza zumos vino espumoso refrescos agua vino	ketchup licor perfume jarabe salsas aceite de mesa	cerveza zumos vino espumoso refrescos agua vino
Ventajas	posibilidad de llenado en caliente, apta para CIP y SIP	posibilidad de llenado en caliente, apta para CIP y SIP, llenado sin goteo	posibilidad de llenado en caliente, apta para CIP y SIP, baja absorción de oxígeno	posibilidad de llenado en caliente, apta para CIP y SIP, llenado sin goteo; llenado cuidadoso debido a vacío ajustable	posibilidad de llenado en caliente, apta para CIP y SIP, sin absorción de oxígeno, gas de retorno del envases no regresa al depósito
Limitantes de aplicación	envases deben ser recipientes-medida			envases deben ser recipientes-medida	
			gas de retorno regresa al depósito	envases estables (no PET)	llenadora de diseño complicado

Fuente: (Blüml & Fischer, 2006)

Tabla 3. Campos de aplicación de Llenadoras volumétricas 2

Llenadoras	Máquinas llenadoras por volumen (2)					Llenadoras pesadoras
	Llenadoras dosificadoras		Llenadoras con medición del caudal		Llenadoras de tiempo-presión	
	Llenadoras de vaso de medición	Llenadoras de pistón	Llenadoras con medición del caudal-flujo volumétrico	Llenadoras con medición del caudal-flujo másico		
Rendimiento [env./h]	hasta 120.000	hasta 36.000	hasta 72.000	hasta 36.000	hasta 36.000	hasta 60.000
Puestos de llenado	24 - 175	10 - 50	16 - 192	10 - 50	2 - 18	16 - 192
Margen de dosificación [cm ³]	hasta 3.000	hasta 1.000	hasta 5.000	hasta 1.000	hasta 1.000	hasta 5.000
Precisión de dosificación	± 0,2 %	± 0,2 hasta 0,5 %	0,08 - 1 %	0,08 - 1 %	0,1 - 1 %	± 0,2 %
Presión en depósito de producto:	presión atmosférica	presión atmosférica*	presión atmosférica	presión atmosférica	presión atmosférica	presión atmosférica
Presión dentro de medio de envase:	presión atmosférica	presión atmosférica	presión atmosférica	presión atmosférica	presión atmosférica	presión atmosférica
Dosificación y llenado con:	presión igual	presión igual	presión igual	presión igual	presión igual	presión igual
Productos a envasar						
muy líquidos	++	++	++	++	++	++
muy espesos	+	++	++	++	-	+
con partículas sólidas	-	+	++	++	-	-
espumante	-	++	-	-	-	-
con gas	-	-	++	++	-	-
Productos típicos	vinagre zumos de frutas leche prod. farmacéuticos b. espirituosas agua	miel ketchup mostaza champú salsas aceite de mesa	yogur leche zumos champú detergente sopas	miel yogur lociones aceite de mesa alcohol sopas	colirio aderezos productos lácteos perfume zumos agua	aderezos productos lácteos detergentes champú salsas aceite de mesa
Ventajas	posibilidad de llenado en caliente, alta precisión, diseño simple de válvula	muy alta precisión, ajuste continuo de volumen, re-aspiración; llenado sin goteo, protección contra explosión, apta para CIP y SIP	alta precisión, precio favorable, apta para CIP y SIP, llenado en caliente posible, ajuste de volumen durante operación, independiente de presión, temperatura y densidad del producto, sin piezas móviles en trayecto de producto	alta precisión, apta para CIP y SIP, llenado en caliente, ajuste de volumen durante operación, independiente de presión, temperatura y conductiv. del producto, sin piezas móviles en trayecto del prod., protección contra explosión	apta para CIP y SIP, sin piezas móviles en trayecto del prod., ajuste del volumen durante operación, poca exposición a fuerzas de cizallamiento, precio favorable	muy alta precisión, tarable, cambio sencillo de cantidades de llenado, indep. de características de envase y producto, apta para CIP y SIP, control 100 %, poca pérdida durante arranque y vaciado
Limitantes de aplicación	cambio de vaso durante cambio de formato	producto a envasar con inclusiones de aire	conductibilidad del producto (> 20 µS/cm), no emulsión agua-aceite	costos de inversión mayores	precisión depende de presión de llenado, temperatura y producto	costos de inversión altos, inadecuada para envases de fondo no estable

Fuente: (Blüml & Fischer, 2006)

Tabla 4. Ejemplos de campos de aplicación de Llenadoras en la industria alimenticia

Producto a envasar	Máquinas llenadoras																							
	Cerveza	Bebida cola	Postres	Aderezos	Vinagre	Miel	Yogur	Ketchup	Licor	Gaseosa aromat.	Mayonesa	Leche	Zumos, mostos	Nata	Salsas	Vino espumoso	Jarabes	Aceite de mesa	Bebidas spirit.	Té	Agua, con gas	Agua, sin gas	Vino	
Máquinas llenadoras de vaso de medición					+						+	+							+	+			+	
Máquinas llenadoras de pistón			+	+	+	+	+	+			+	+			+		+	+						
Máquinas llenadoras de presión normal					+			+			+	+			+				+	+			+	+
Máquinas llenadoras de depresión					+			+	+		+	+			+		+	+	+				+	+
Máquinas llenadoras de sobrepresión	+	+								+		+				+					+	+		+
Máquinas llenadoras de vacío alto								+	+						+		+	+						
Máquinas llenadoras de tres cámaras	+	+								+		+			+							+		+
Máquinas llenadoras con medición del caudal-flujo volumétrico	+	+		+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Máquinas llenadoras con medición del caudal-flujo másico						+	+											+						
Máquinas llenadoras de tiempo-presión				+								+	+								+		+	
Máquinas llenadoras pesadoras				+								+			+			+						

Fuente: (Blüml & Fischer, 2006)

3.3 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

Antes de iniciar en los sistemas de refrigeración como tal es necesario apoyarse de su base teórica la cual tiene fundamento en la Termodinámica y según Cengel (2009) "La termodinámica es la ciencia de la energía y esta se puede considerar como la capacidad de causar cambios". (pag.38)

3.3.1 CICLO DE REFRIGERACIÓN

Una de las aplicaciones más grandes de la termodinámica se encuentra en la refrigeración y esta es la absorción de calor con el fin de enfriar un cuerpo, básicamente siguiendo la segunda ley de la termodinámica que nos dice que la transferencia de calor de un cuerpo a otro siempre

se dará del de mayor temperatura al de menor temperatura. De esto parte la idea de los Sistemas de Refrigeración y los ciclos en los que operan se llaman "Ciclos de Refrigeración".

Existen una variedad de ciclos entre los cuales podemos mencionar los ciclos de refrigeración de gas, refrigeración por absorción, refrigeración en cascada, refrigeración termoeléctrica, por compresión de vapor. El ciclo de refrigeración más utilizado es el de Compresión de Vapor el cual se analizará a detalle más adelante describiendo cada uno de sus componentes.

Lijó & Manue (2012) Afirma:

Los sistemas de refrigeración por compresión constan básicamente, de cuatro elementos que consideramos fundamentales a través de los cuales circula un fluido refrigerante el cual está sometido a cambios de estado a lo largo del circuito, estos elementos son: Compresor, condensador, dispositivo de expansión y evaporador. (p. 3)

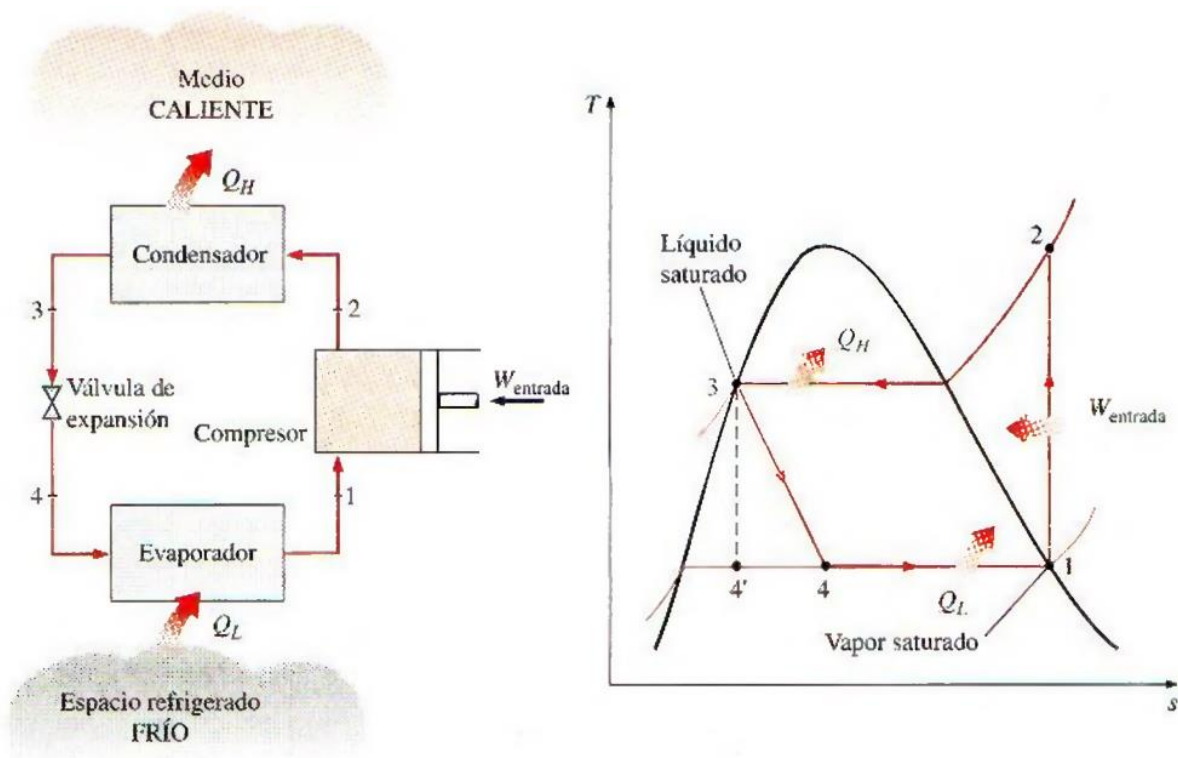


Ilustración 11. Esquema y diagrama T-s para el ciclo de refrigeración por compresión de vapor

Fuente: (Cengel: 2009)

3.3.2 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE COMPRESIÓN DE VAPOR

3.3.2.1 Compresores

“Es el corazón de la instalación. Su función, dentro del sistema de refrigeración, consiste en aspirar el fluido refrigerante a baja presión y temperatura, comprimirlo y descargarlo a una presión y temperatura tales que se pueda condensar” (Lijó & Manue, 2012b, p. 34)



Ilustración 12. Compresor Vilter industrial

Fuente: (Propia, 2019)

Los compresores son el elemento que se encarga de comprimir el gas proceso en el cual se aumenta la presión y por ende la temperatura.

3.3.2.2 Condensadores

Su función es condensar el fluido refrigerante que sale del compresor como vapor sobrecalentado. Dado que es como un intercambiador de calor cederá su calor al agente condensante ya sea agua o aire produciéndose un enfriamiento del fluido refrigerante hasta llegar a la temperatura de condensación, a la cual se efectuara el cambio de estado.(Lijó & Manue, 2012b, p. 77)

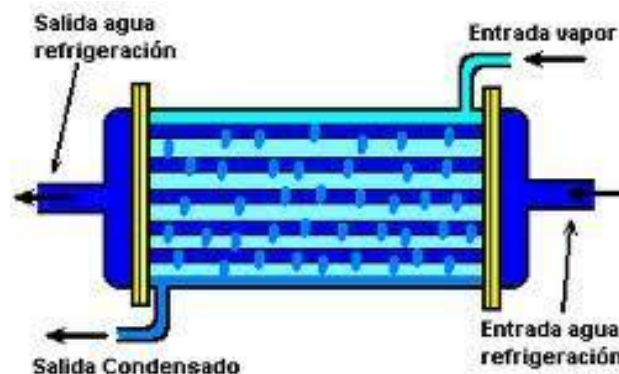


Ilustración 13. Ciclo de condensador

Fuente: (REL, 2016)

Un condensador es un dispositivo que condensa el refrigerante, es decir, toma el gas enviado desde los compresores y lo cambia a fase líquida a través ventiladores que sacan el calor con ayuda de agua fría.



Ilustración 14. Condensador Industrial

Fuente: (Propia, 2019)

3.3.2.3 Evaporadores

Un evaporador es el consumidor del sistema en donde se da la transferencia de calor del producto al medio refrigerante por medio del intercambiador de calor.

La segunda ley de la Termodinámica define la función de estado entropía, que se relaciona con el grado de desorden del sistema; dicen que cambios son posibles y cuales no lo son, y con cuanta eficiencia se puede convertir la energía de una forma a otra. Es decir, permite determinar el nivel de energía, así como el nivel de degradación durante el proceso. (González Sierra, 2012, p. 430)

Un ejemplo de esta ley es la transferencia de calor pues dicho calor no puede ser transferido del cuerpo de menor temperatura al de mayor puesto que en un proceso meramente de transferencia de calor el calor no puede ir cuesta arriba, sino que siempre es del cuerpo con mayor calor al de menor calor. En la industria embotelladora todos los consumidores son unidades de transferencia de calor (intercambiadores de calor), casi todos son de marcas

distintas, pero tienen el mismo fin, extraer calor del productor hasta una temperatura entre 3 y 7 grados de forma que el CO₂ sea estable en el proceso de llenado.

Rolle (2006) afirma: "Si un dispositivo funciona como refrigerador o algún otro aparato parecido que se necesite para enfriar una región, se usa el coeficiente de refrigeración (COR), el cual es la diferencia del coeficiente de desempeño (COP) menos uno" (p. 233).



Ilustración 15. Consumidor Industrial

Fuente: (Propia, 2019)

"El evaporador es el elemento de la instalación donde se produce el efecto refrigerante. Tiene que estar formado por un material que sea buen conductor de calor, para que se realice el mejor intercambio posible" (Lijó & Manue, 2012b, p. 103).

3.3.2.4 Receptor de Alta Presión

Tiene la función de almacenar el amoníaco proveniente de los condensadores. Pueden soportar una presión máxima de 250 psi a 500 F y una temperatura mínima de -20 F.



Ilustración 16. Tanque de refrigerante industrial

Fuente: (Propia, 2019)

3.3.2.4 Receptor de Baja Presión

El receptor de baja presión cumple la tarea de separar el refrigerante líquido de la línea de retorno de los consumidores, para que los compresores solo obtengan refrigerante seco.

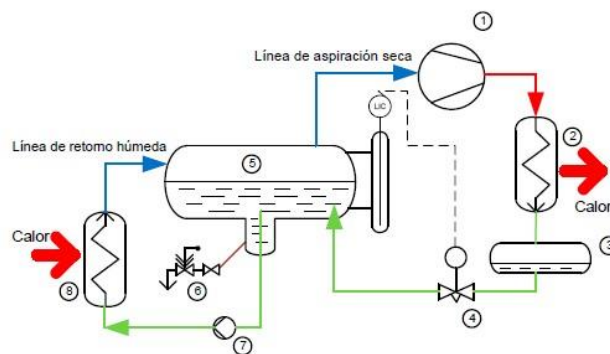


Ilustración 17. Función del receptor de baja presión

Fuente: (INESEM, 2017)

3.3.2.5 Filtros y otros elementos del sistema

Dentro del sistema a parte de los elementos principales (compresores, condensadores, etc.) existen varios elementos que son esenciales para el buen funcionamiento del sistema, estos se describirán a continuación:

- + Filtros. Los filtros sirven para limpiar impurezas que pueda tener el refrigerante, como es un ciclo cerrado no debería de haberlas, pero debido a modificaciones o

mantenimiento pudo haber ingresado agentes externos que al final se buscan filtrar. En el sistema hay 3 filtros en paralelo luego del receptor de amoniaco destinados a limpiar antes de que pasen a la etapa de transferencia de calor.



Ilustración 18. Filtros para refrigeración Industrial

Fuente: (Blüml & Fischer, 2006)

- ✚ Tubería. Son los canales por donde se transporta el refrigerante y que conectan cada elemento del sistema.
- ✚ Válvulas. Ya sean mecánicas o eléctrica tienen el mismo propósito, el cual es controlar el flujo del refrigerante en todo el sistema. Las que resaltan en el sistema de refrigeración son las que se encuentran a la salida de los compresores.



Ilustración 19. Válvula de globo industrial

Fuente: (Propia, 2006)



Ilustración 20. Válvula anti retorno industrial

Fuente: (Propia, 2006)

3.3.2.6 Sistema Eléctrico

El sistema eléctrico es el encargado de monitorear y controlar el sistema, está compuesto por PLC y sistema SCADA, un acrónimo de Supervisor y Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos), además de un conjunto de sensores y actuadores que indican presiones y alarmas.

🚦 Controlador Lógico Programable (PLC)

Un controlador lógico es aquel que realiza funciones lógicas, combinatorias y secuenciales, mediante la programación adecuada introducida a través de las teclas que dispone el equipo en su frontal o con la ayuda de un PC. (Álvarez Pulido, 2003, p. 1)

Los compresores, los condensadores y el receptor de baja presión están controlados por un sistema Control Lógico Programable. Las unidades de evaporador (consumidores) tienen su propio sistema de control, la mayoría de ellas son controladas por Danfuss EKC 361.



Ilustración 21. PLC Allen Bradley

Fuente: (Allen Bradley, 2006)

✚ Sistema SCADA

Scada (Supervisory Control And Data Acquisition o Control con Supervisión y Adquisición de Datos) a cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso y permita, utilizando herramientas de comunicación necesarios en cada caso, el control del mismo.

(Rodríguez Penin, 2007, p. 19)



Ilustración 22. SCADA Anton Paar

Fuente: (Anton Paar, 2019)

Básicamente es un hardware con un software de monitorización o supervisión, un medio de interface entre los niveles de control (PLC) y los de gestión, a un nivel superior. Los Objetivos de su implementación son los siguientes:

- ✓ Manejo y visualización en Windows con el que todos estamos familiarizados
- ✓ Arquitectura de software abierta que permite combinaciones con aplicaciones estándar que permiten crear soluciones de mando
- ✓ Sencillez de instalación y fáciles de usar
- ✓ Permitir la instalación de herramientas de ofimática como tablas de cálculo o documentos de producción.
- ✓ Fácilmente modificable y escalable con versatilidad para adaptarse a lo que exija el ambiente laboral.
- ✓ Ser independiente de la demás tecnología de la empresa lo que permite autonomía.

✚ Sensores

Son dispositivos que transforman magnitudes físicas a señales eléctricas capaces de ser analizadas con el fin de llevar un control de un proceso.



Ilustración 23. Sensores industriales

Fuente: (PCE, 2019)

Sensores se entiende tanto las unidades que emite una señal analógica, como las unidades que emiten una señal binaria (encendido o apagado).

IV. METODOLOGÍA

El principal objetivo de la investigación científica es la obtención de información precisa y confiable. el conocimiento obtenido a través de la investigación científica puede ser de gran valor, y la investigación científica puede realizarse a través de dos acercamientos metodológicos: la metodología cualitativa y la metodología cuantitativa. Estos dos acercamientos difieren enormemente entre sí, desde el paradigma de investigación que les da origen, el rol del investigador, las preguntas que intentan responder y el grado de generalización posible. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, p. 528)

4.1 HIPÓTESIS Y VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

La necesidad del proyecto fue debido a una gran cantidad de paros en las líneas #1 y #3 de producción la empresa Embotelladora de Sula S.A. para tener una mejor visión del problema y lo que se buscó con la realización del proyecto se presenta la siguiente matriz.

Tabla 5. Matriz de congruencia de investigación

Titulo	Propuesta para reducción de pérdidas en el proceso de llenado en Embotelladora de Sula		
Problema	Preguntas de Investigación	Objetivos	
		General	Específicos
Se registran muchos paros en el proceso de llenado de las Líneas de producción #1 y #3 de EMSULA en relación a problemas de refrigeración	¿A qué se deben los paros involuntarios en la etapa de llenado de las Líneas #1 y #3 de producción de	Analizar el sistema de refrigeración para implementar mejoras y así aumentar la eficiencia del mismo, obteniendo una mayor eficacia en el proceso de llenado de bebidas carbonatadas en la Líneas de producción.	Analizar la causa de los paros involuntarios en la etapa de llenado de las Líneas #1 y #3 de producción de EMSULA.
	¿Qué factores influyen en el control de la etapa de llenado de las Líneas #1 y #3 de EMSULA?		Enumerar los factores que influyen en el control de la etapa de llenado de las líneas de producción #1 y #3 de EMSULA.
	¿Cómo se pueden reducir los paros por averías en el equipo de llenado de EMSULA?		Explicar de qué forma se pueden reducir los paros por averías en el equipo de llenado de EMSULA.
	¿Cuál es la capacidad necesaria de refrigeración para cubrir la demanda de las líneas de producción de EMSULA?		Determinar la capacidad necesaria en el sistema de refrigeración para cubrir la demanda de enfriamiento de la Líneas de Producción
	¿Cuáles son las mejoras que se podrían realizar al sistema de refrigeración de EMSULA?		Proponer mejoras a las etapas de compresión, condensación e intercambio de calor del Sistema de refrigeración de EMSULA para aumentar la capacidad del mismo.

Fuente: (Propia, 2019)

Se relacionan los problemas de llenado con el sistema de refrigeración debido a que lo anormal es el porcentaje de CO₂ en el producto y este es más inestable cuando no se controla el rango de temperatura bajo que se necesita. Se espera verificar que el sistema de refrigeración sea la causa además de buscar el origen específico del problema, luego presentar propuestas de mejora que resolverán dicho problema y al final evaluar dichas mejoras en la medida se vayan implementando de darse la aprobación y la oportunidad

4.1.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

La variable independiente son los cambios que deseamos controlar y que no dependen de ninguna otra variable y que son el centro de cualquier diseño experimental cuantitativo. A partir de lo anterior podemos identificar las siguientes variables:

1. La demanda de producción de la planta,
2. Daños y averías en equipos,
3. Mantenimiento
4. Control del proceso
5. Embazado

4.1.2 VARIABLES DEPENDIENTES

La variable dependiente son los cambios que se realizan a partir de otros cambios, mide los efectos de las variables independientes:

Tiempos de llenado

4.2 ENFOQUE Y MÉTODOS

En cualquier investigación se debe sustentar las teorías propuestas mediante un enfoque generalmente cualitativo o cuantitativo, pero también se puede partir de un enfoque que lleve parte de ambos y es por el que se rige este proyecto "el enfoque mixto" y presenta ciertas ventajas las cuales, Hernández Sampieri et al. (2014) afirma:

- ✚ Perspectiva más amplia y profunda
- ✚ Mayor teorización
- ✚ Datos más "ricos" y variados
- ✚ Creatividad
- ✚ Indagaciones más dinámicas
- ✚ Mayor solidez y rigor
- ✚ Mejor "exploración y explotación" de los datos.

En la siguiente imagen se detalla los enfoques metodológicos utilizados.

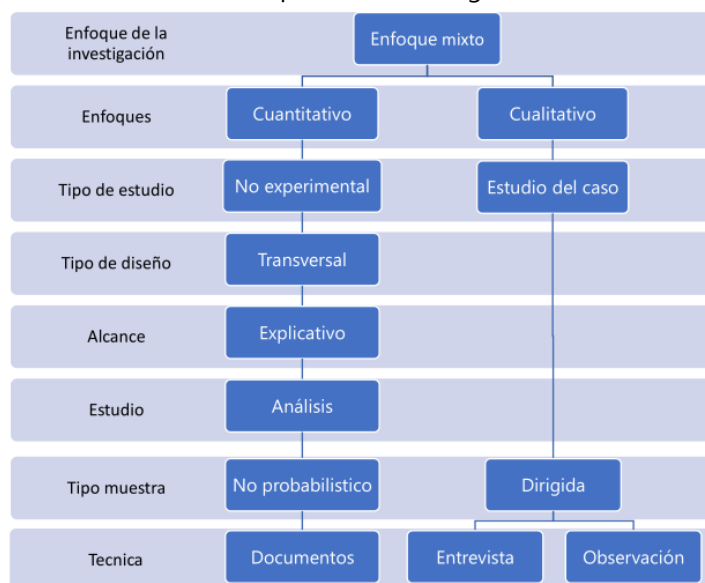


Ilustración 32. Enfoque de investigación

Fuente: (Propia, 2019)

4.3 TÉCNICA E INSTRUMENTACIÓN

La dimensión de las técnicas de recolección de información confronta al investigador a un proceso de toma de decisiones para optar por aquellas técnicas que sean más apropiadas a los fines de la investigación. Dicha decisión guarda estrecha relación con la naturaleza del objeto de estudio, con los modelos teóricos empleados para construirlo y con la lógica paradigmática de la que el investigador parte. (Maroto Álvarez & Alcaraz Soria, 2011, p. 27)

4.3.1 OBSERVACIÓN

Observar es un acto de voluntad consciente que selecciona una zona de la realidad para ver algo. Implica un acto total en el cual el sujeto que observa está comprometido perceptivamente en forma holística, es decir, que además de la vista utiliza el oído -la escucha-, el olfato, etc., y las categorías culturales internalizadas que le permiten ordenar y dar sentido a lo que percibe. (Yuni & Urbano, 2009, pp. 47-48)

La primera técnica a utilizar es la observación tanto del proceso de producción como el proceso de llenado y todos los factores y equipos físicos que contribuyen para su correcto funcionamiento, de esta forma se pueden visualizar deficiencias o parámetros fuera de lo establecido y así proceder a realizar un análisis.

4.3.2 CONSULTAS Y ENTREVISTAS

La entrevista es una técnica de investigación muy utilizada en la mayoría de las disciplinas empíricas. Apelando a un rasgo propio de la condición humana -nuestra capacidad comunicacional- esta técnica permite que las personas puedan hablar de sus experiencias, sensaciones, ideas, etc. (Yuni & Urbano, 2009, p. 81)

Es fundamental tener la opinión directa de los expertos en la materia y de las personas que más relacionadas están con el equipo, de esta forma se pueden conocer y evaluar factores que no están en el papel.

Preguntas de la Entrevista

¿Cuál es su cargo? (Operario, Técnico, Supervisor, Control de calidad)

¿Recibió alguna capacitación de manejo del equipo?

¿Con qué frecuencia se presenta alguna falla o paro involuntario en el proceso de llenado?

¿Qué acciones se toman al momento de una falla?

¿Cuáles son las fallas más comunes que presenta la máquina de llenado?

¿Cuánto tiempo dura un paro regularmente?

¿Realizan mantenimiento al equipo? ¿Con qué frecuencia y que tipo de mantenimiento?

¿Lleva algún registro de los paros o fallas?

¿Cada cuánto se realizan las pruebas de control de calidad?

La entrevista se aplicó a los 4 operarios que manejan las máquinas Llenadoras #1 y #3 así como a 2 técnicos encargados de solucionar problemas mecánicos y eléctricos y ajustar las máquinas al presentarse alguna avería y también al supervisor y coordinador de mantenimiento, los resultados de la investigación se detallan a continuación:

El personal está capacitado por la empresa y lleva un registro del tiempo de cada paro en un reporte que al final se ingresa a la base de datos de EMSULA para llevar un mejor control del proceso. En los meses de marzo y abril se registraron gran cantidad de paros en la Línea #1 y Línea #3 de producción en su mayoría debido a problemas de refrigeración ya que no se alcanzaba la temperatura adecuada y esto provocaba que no se llenara a un nivel adecuado,

la segunda fuente de paros fue por averías mecánicas especialmente en la Línea #3 por piezas como pinzas, empaques y válvulas de llenado que se encuentran dañadas. Cabe señalar que en EMSULA en la mayoría de casos solo se realiza mantenimiento correctivo y esto provoca problemas debido al elevado ritmo de trabajo 24/7 al que se somete la maquinaria. Sería ideal invertir en mantenimiento predictivo porque este alargaría la vida útil de las máquinas sin sacrificar mucho tiempo por paros innecesarios pero la empresa no está interesada en invertir mucho en mantenimiento por lo que se desistió de una propuesta y la coordinación de mantenimiento ya está elaborando un plan de mantenimiento preventivo que se iniciara con un Overhaul completo de toda la maquinaria.

Por todo lo anterior se decidió centrar la investigación en propuestas de mejora al Sistema de refrigeración con el fin de reducir los paros involuntarios y perdidas del proceso de llenado.

4.3.3 TECNOLOGÍAS

Una herramienta poderosa y a la que acude todo investigador de ingeniería son los softwares que permiten dar un mejor panorama, orden y evaluación tanto de forma cuantitativa a través de la facilidad de cálculos como lo hace Excel o también cualitativa viendo las características físicas y naturales de algo a través de un diseño en 3D como lo permite SOLIDWORKS.

4.4 FUENTES DE INFORMACIÓN

Al realizar una investigación viene un arduo trabajo en cuanto a consultar información ya sea a través de fuentes primarias o secundarias.

El principal objetivo de la investigación científica es la obtención de información precisa y confiable. Sin embargo, la investigación puede adoptar muchas otras formas. Uno puede preguntar a los expertos, revisar libros y artículos, examinar experiencias de los colegas y propias de nuestro pasado y aún confiar en la propia intuición. Sin embargo, los expertos pueden tener apreciaciones erróneas, las fuentes documentales pueden no tener un acercamiento valioso, los colegas pueden no tener experiencia en el tema de nuestro interés y nuestras experiencias e intuición pueden ser irrelevantes o malentendidas. (Hernández Sampieri et al., 2014, p. 528)

Por todo lo anterior, el conocimiento obtenido a través de la investigación científica puede ser de gran valor.

4.4.1 FUENTES PRIMARIAS

Se consultó en su mayoría libros y revistas científicas:

📚 Libros físicos referentes al tema de investigación de forma directa y también descriptivos de la física y tecnología que en ellos está implícita. Dentro de los que podemos mencionar:

- Refrigeration and Air Conditioning (Ramesh Chandra Arora)
- El mundo de los envases: Guía técnica y práctica sobre el llenado de productos líquidos (Blüml & Fischer)
- Mecánica de fluidos (Yunus Cengel)
- Termodinámica (Yunus Cengel)
- Manual de refrigeración (Lijó & Manue)
- Instalaciones frigoríficas (Rapin)

📚 Libros y revistas científicas de la red CRAI virtual como ser la Biblioteca Pearson, Proquest, E-libro, entre otras. Por mencionar algunos:

- Controladores lógicos (Álvarez Pulido)

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3173546>

- Refrigeración industrial: Montaje y mantenimiento de instalaciones frigoríficas (González Sierra)

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3227046>

- Eficiencia energética en las instalaciones de climatización en los edificios (Mendoza Ramírez)

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtual-ebooks/detail.action?docID=4507787>


4.4.2 FUENTES SECUNDARIAS

📚 Catálogos

Catálogo de partes Krones Contiform Bloc Llenadora (KRONES)

📚 Manuales técnicos

- Manual de Auditoria de Refrigeración (Hansa Industrieanlagen GmbH)
- Manual Recipientes a Presión (Hansa Industrieanlagen)
- MAINTENANCE INSTRUCTION (Hansa Industrieanlagen GmbH)

- Manual eléctrico GEA/ARAX 52000 L/HS (VMC REFRIGERACION S.A.)
-  Tesis referentes al tema
- Instalación De Compresor De Amoniaco Para Sistema De Refrigeración, Cargill De Honduras Planta Pronorsa (Ricardo Alfonso Escobar Murillo)
- Mantenimiento de Sistemas Auxiliares, Embotelladora de Sula S.A. (Cristian Alejandro Henríquez Romero)
- Plan de Mantenimiento en Sistemas de Refrigeración, Embotelladora de Sula S.A. (Virgilio Andrés Madrid García)

4.5 LIMITACIONES

Durante el proceso investigativo se encontraron varias limitaciones para el desarrollo de este:

- 1) Falta de datos estadísticos completos sobre reportes de fallo de equipos auxiliares.
- 2) Falta de manuales de los equipos auxiliares y también las adaptaciones de equipos de diversas marcas que impiden se haga una aproximación exacta.
- 3) Factor tiempo el cual fue la mayor limitante por el hecho de que es difícil programar un mantenimiento en una planta donde nunca se detiene voluntariamente la producción.

4.6 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

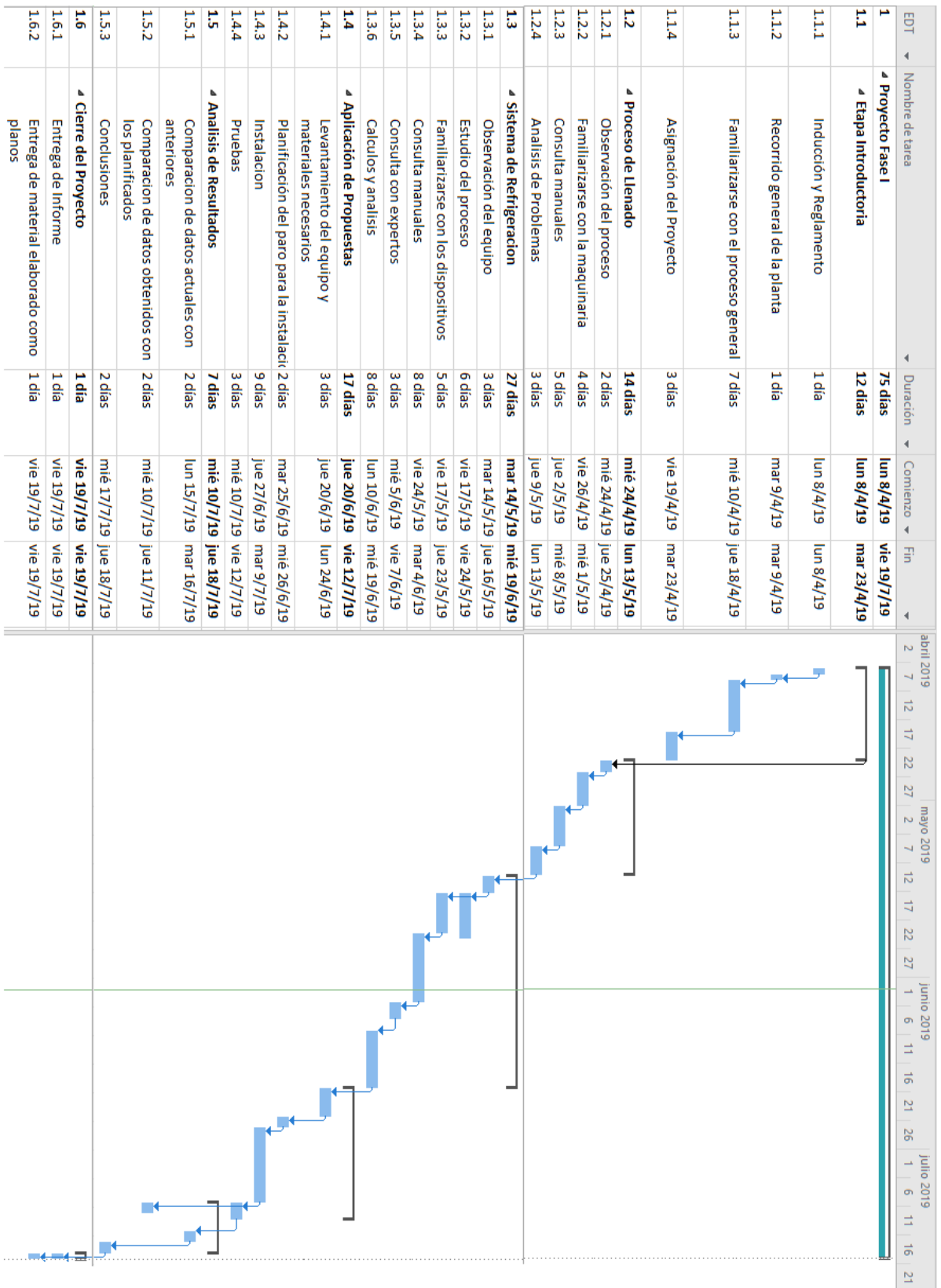


Ilustración 33. Cronograma y diagrama de Gantt

Fuente: (Propia, 2019)

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 VERIFICACIÓN DE PROBLEMAS EN EL LLENADO

Es importante señalar que al hacer el estudio se observó que varios factores causan paros involuntarios en este proceso entre ellos: las averías mecánicas por falta de mantenimiento, fallos en una etapa posterior o anterior debido a que es un proceso secuencial como se ve en el diagrama de flujo, mala planificación y por último en base a la cual se realizó el proyecto, problemas de nivel de llenado por la inestabilidad del CO₂ directamente en relación a problemas de refrigeración, la más importante por su reincidencia, ya que está presente en 5 líneas de producción.

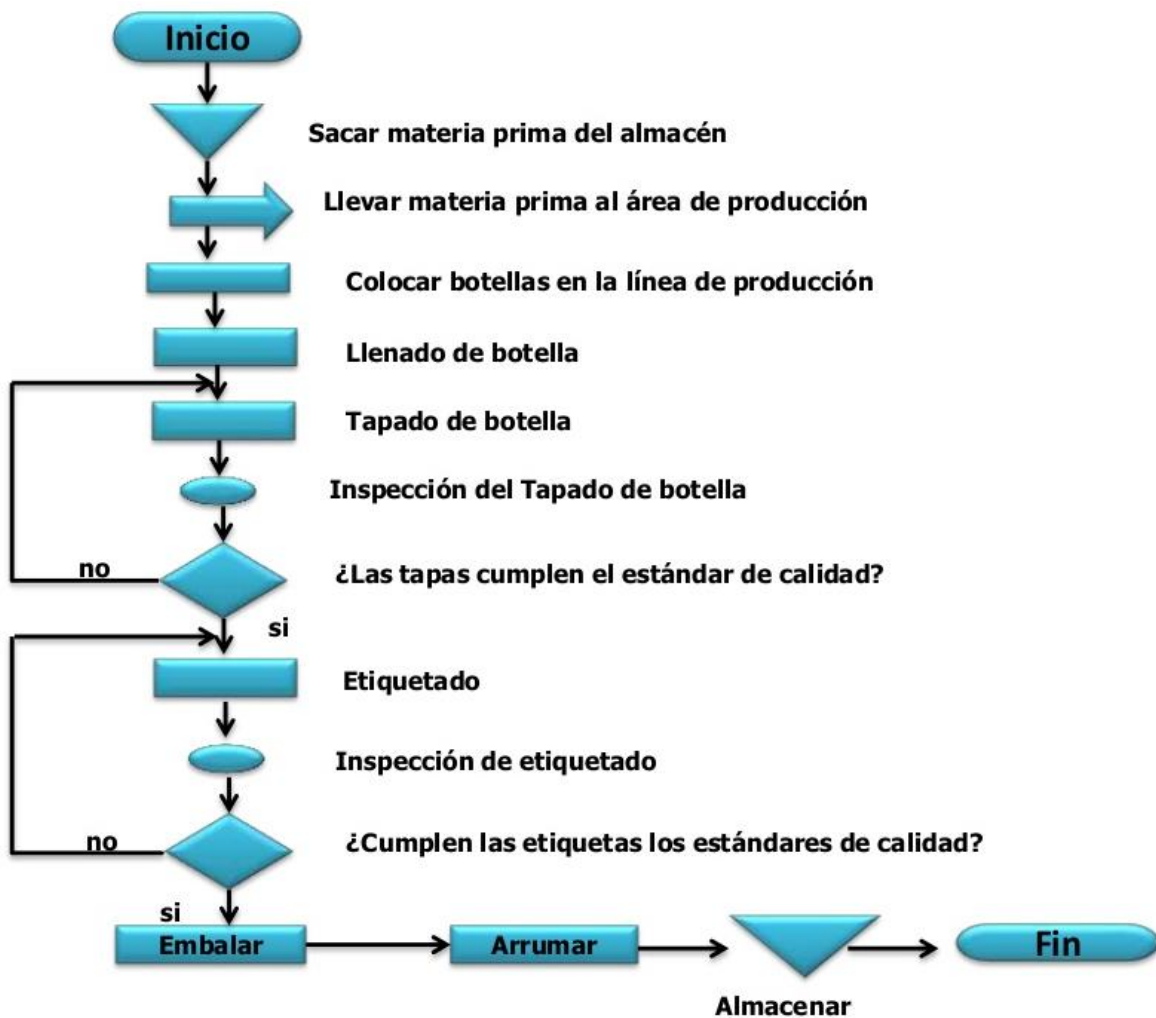


Ilustración 26. Diagrama de flujo del proceso de envasado

Fuente: (Propia, 2019)

5.1.1 PRUEBAS DE CALIDAD PROCESO DE LLENADO

Primero se hace una prueba de pesado del producto para verificar la calidad en el volumen de llenado. Esto se hace con una balanza digital.



Ilustración 27. Balanza digital

Fuente: (Propia, 2019)

En el proceso de envasado se revisan varios elementos que dependen del material del envase por ejemplo si se usa vidrio, el cual se reutiliza de forma constante hasta que su desgaste lo lleve al punto de daño, a este material antes del proceso de llenado pasa por un lavado que consiste en ingresar la botella en una lavadora industrial que tiene varios hornos con el fin de eliminar cualquier microorganismo luego pasa por una estación Omnivisión que tiene varias cámaras que evalúan varios elementos como ser: daños en la pared externa de la botella, daños en la pared interna de la botella, labio roto (boquilla de la botella), daños en la base de la botella, agente extraño dentro de la botella como pajillas, plástico, bolsas, etc.



Ilustración 28. Sistema Omnivisión

Fuente: (Propia, 2019)

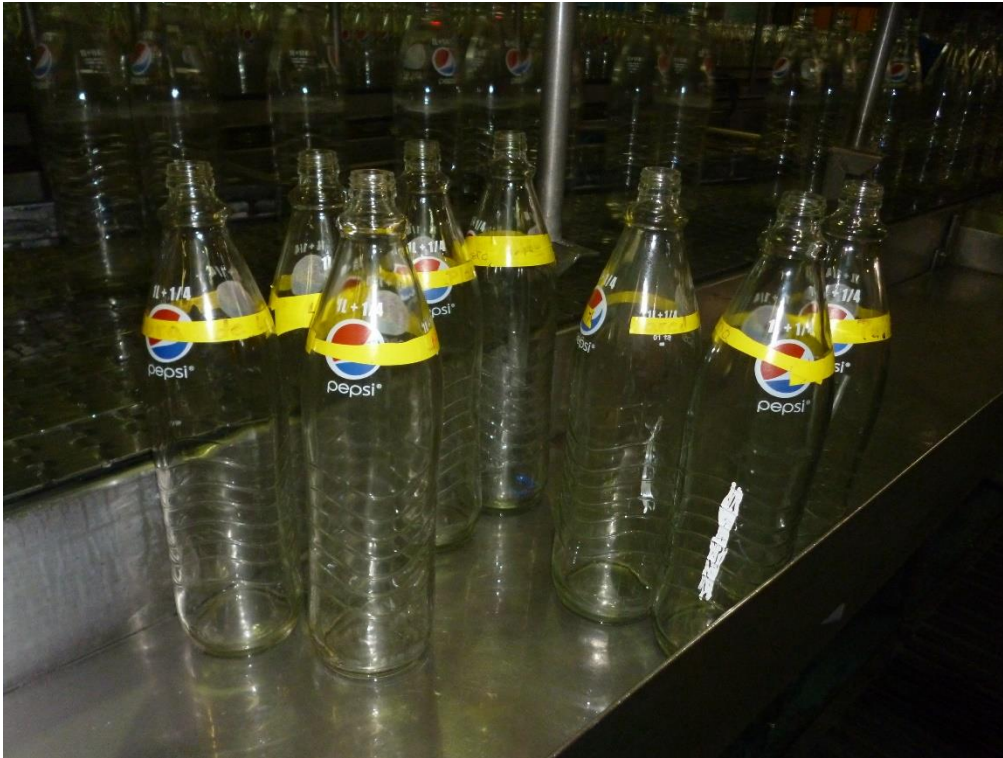


Ilustración 29. Botellas para pruebas

Fuente: (Propia, 2019)

Otro factor del cual dependen las pruebas son el tipo de producto y sus propiedades por ejemplo en bebidas carbonatadas (refrescos) se evalúa el CO_2 el cual debe tener cierto porcentaje dependiendo del producto que sea, a continuación, se muestra el medidor utilizado en EMSULA.



Ilustración 30. Dispositivo para medir el CO_2 en las bebidas carbonatadas

Fuente: (Propia, 2019)

También se mide el brix el cual es el porcentaje de azúcar que tiene la bebida como se mencionó anteriormente. La prueba para bebidas carbonatadas, primero consiste en sacar el gas mediante una estación "desgacificador" y luego pasa al instrumento de medición.

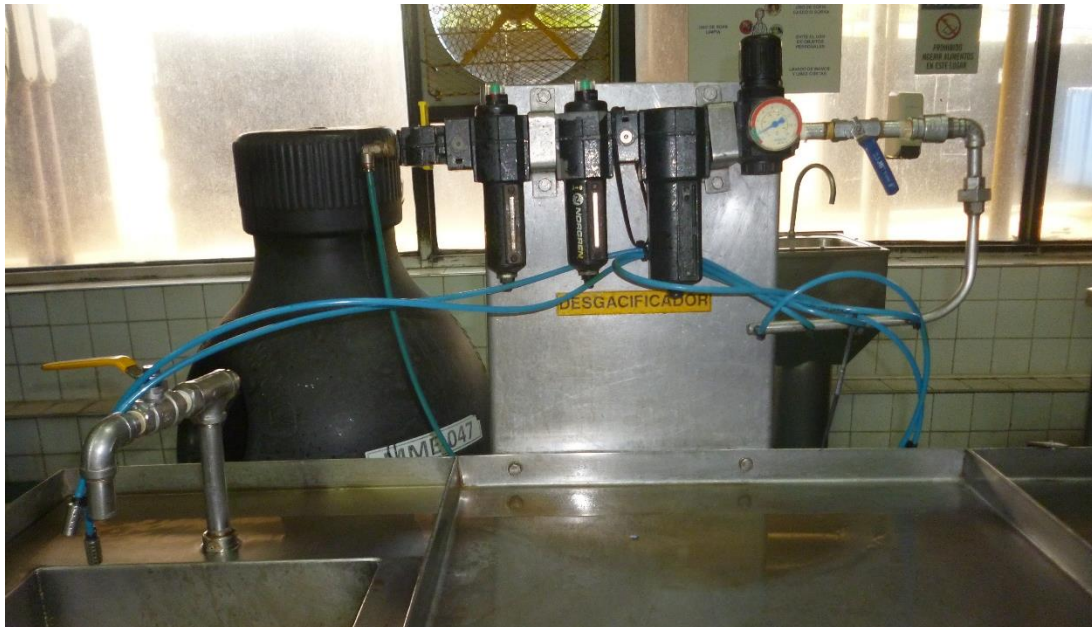


Ilustración 31. Desgacificador

Fuente: (Propia, 2019)



Ilustración 32. Medidor de Brix

Fuente: (Propia, 2019)

5.1.1 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EMSULA

EMSULA tiene un sistema de refrigeración centralizado de Compresión de Vapor que se encarga de abastecer a las líneas 1,2,3,4,7 y el azúcar. El refrigerante que se utiliza es Amoniac, el sistema consta de una estación de diez compresores de pistón Vilter de los cuales solo 9 están funcionando y que trabajan con dos condensadores BAC, luego el amoniac se recoge en un receptor de alta presión y después de pasar por unos filtros se manda a los consumidores los cuales son intercambiadores de calor por placas en donde se da el proceso de evaporación del refrigerante por el intercambio de calor con el producto, a su vez este es atrapado por una trampa de amoniac que separa el gas del posible líquido que quede, este gas se manda a los compresores y el ciclo de refrigeración se repite.

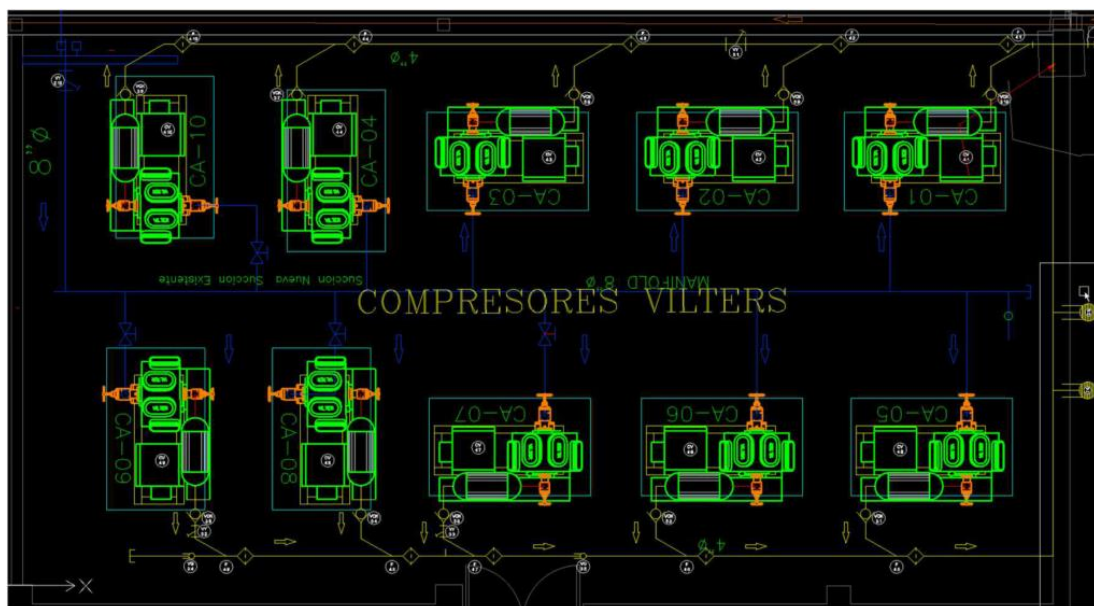


Ilustración 33. Diagrama de Sala de compresores

Fuente: (Hansa Industrieanlagen GmbH, 2017)

En las siguientes imágenes se presentan los condensadores instalados en EMSULA estos tienen la función de enfriar el gas entregado por los compresores hasta que esté en estado líquido y por gravedad baje hasta el receptor de alta. Ambos condensadores son marca BAC uno tiene 4 ventiladoras y el otro solo 3, el proceso consiste en hacer circular agua fría por un lado y el gas por el otro el cuál mediante intercambio de calor se enfría con ayuda de las ventiladoras que extraen el calor del agua.



Ilustración 34. Condensador #2 EMSULA

Fuente: (Propia, 2019)



Ilustración 35. Ventiladoras de Condensador #2 EMSULA

Fuente: (Propia, 2019)

En las siguientes imágenes se muestra el consumidor de la línea #1 el cual es un intercambiador de calor marca VMC que opera con una placa electrónica que controla alarmas y sensores. La función del intercambiador de calor o evaporador es la de enfriar el producto hasta una temperatura baja entre 3 y 7 grados a través de placas instaladas en donde circula por un lado el producto y por el otro el refrigerante dando como resultado un producto con la temperatura deseada y un refrigerante en forma de vapor el cuál es dirigido a la trampa de amoniaco para reutilizar el líquido que no se haya consumido.



Ilustración 36. Vista lateral intercambiador de calor Línea #1 EMSULA

Fuente: (Propia, 2019)



Ilustración 37. Placas intercambiador de calor Línea #1 EMSULA

Fuente: (Propia, 2019)

Receptor de alta presión sirve para almacenar el refrigerante y a la vez bajar la presión del refrigerante condensado es análogo a la válvula de expansión de un sistema de refrigeración pequeño, esto consigo trae una disminución de la temperatura y luego sale a los consumidores.



Ilustración 38. Receptor de alta presión EMSULA

Fuente: (Blüml & Fischer, 2006)

El receptor de baja presión o trampa de amoniaco separa el líquido refrigerante no consumido del evaporado y lo redirige hacia los consumidores con ayuda de una bomba.



Ilustración 39. Receptor de baja presión EMSULA

Fuente: (Blüml & Fischer, 2006)

5.2 CALCULO DE LA DEMANDA NECESARIA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

La capacidad que se necesita en el sistema de refrigeración es directamente proporcional a la demanda de producción por el hecho que se hace un intercambio de calor del producto al refrigerante de forma directa a través de un intercambiador de calor, estos están instalados en cada línea de producción que llena en frío, como los intercambiadores son de diferentes marcas se pone una ficha del consumo de cada línea a continuación:

Tabla 6. Capacidad de consumo Línea #1 EMSULA

Línea # 1			Unidad de evaporación VMC		
Presentación	Velocidad (B/h)	Flujo (L/h)	Tentrada (C)	Tsalida (C)	Capacidad (kW)
6.5 Oz	34000	6535	35	3	237
12 Oz	42000	14905	35	3	541
500 mL	42000	21000	35	3	763
1.25 L	21000	26250	35	3	954

Fuente: (Propia, 2019)

En la tabla 6 se detallan datos de la Línea 1 de producción: a cuál presentación de producto corresponden los datos, la velocidad medida en Botellas por hora, el flujo del producto el Litros por hora, la temperatura a la que entra el intercambiador de calor y la temperatura a la que sale del mismo y por ultimo lo importante la capacidad de refrigeración necesaria.

Tabla 7. Capacidad instalada en el Intercambiador Línea #1

Fabricante	VMC	Condiciones de diseño	Fabricante	VMC	#305
Tipo		PHE	Tamaño	Approx.. Ø850 x 2800mm	
Año		LWC150S	Fabricante	ARAX	#154A1013
Serial		98 Placas	Diseño	856 kW, 58,830 l/h, tin + 19°C, tout +5°C, to +2°C	
Observaciones	¡Las condiciones de diseño de PHE difieren de las condiciones de diseño del consumidor!				

Fuente: (Propia, 2019)

En la tabla 7 se detallan datos del intercambiador instalado en la Línea 1 de producción: Marca del mismo, el tamaño aproximado del separador y el fabricante del mismo, número de placas en donde se realiza el intercambio de calor, el fabricante y modelo de las mismas, así como la

capacidad que soporta el diseño y por ultimo un comenario con las observaciones de la comparación de la capacidad demandada vs la capacidad instalada.

Tabla 8. Capacidad de consumo Línea #2 EMSULA

Línea # 2			Mezclador Krones		
Presentación (L)	Velocidad (B/h)	Flujo (L/h)	Tentrada (C)	Tsalida (C)	Capacidad (kW)
1.1	20000	24000	35	3	872
1.25	18000	22500	35	3	817
2	13000	26000	35	3	945
3	10000	30600	35	3	1112
3.3	8000	26400	35	3	959

Fuente: (Propia, 2019)

En la tabla 8 se detallan datos de la Línea 2 de producción: a cuál presentación de producto corresponden los datos, la velocidad medida en Botellas por hora, el flujo del producto el Litros por hora, la temperatura a la que entra el intercambiador de calor y la temperatura a la que sale del mismo y por ultimo lo importante la capacidad de refrigeración necesaria.

Tabla 9. Capacidad instalada en el Intercambiador Línea #2

Fabricante	Hansa	Condiciones de diseño	Fabricante	Th. Witt	#105745/41
Tipo	TIDS		Tamaño	Ø950 x 2950mm	
Año	KROHO 2	PHE	Fabricante	Alfa Laval	#30103-28239
Serial	#01 002 01		Diseño	871 kW, 30,000 l/h, tin + 28°C, tout +3°C	
Observaciones	Varias modificaciones en el panel de control, nuevo controlador de nivel, solo quedan dos válvulas piloto (1x CVP, 1x CVQ), sensor de temperatura faltante. Operación con bomba de refrigerante. Sin aislamiento. Las condiciones de diseño de PHE difieren de las necesidades reales.				

Fuente: (Propia, 2019)

En la tabla 9 se detallan datos del intercambiador instalado en la Línea 2 de producción: Marca del mismo, modelo, serie, el tamaño aproximado del separador y fabricante del mismo, placas en donde se realiza el intercambio de calor, el fabricante y modelo de las mismas, así como la capacidad que soporta el diseño y por ultimo un comenario con las observaciones de la comparación de la capacidad demandada vs la capacidad instalada.

Tabla 10. Capacidad de consumo Línea #3 EMSULA

Línea # 3			Mezclador Krones		
Presentación	Velocidad (B/h)	Flujo (L/h)	Tentrada (C)	Tsalida (C)	Capacidad (kW)
12 oz	24000	8520	35	3	309
500 mL	22000	11000	35	3	399
600 mL	22000	13200	35	3	479
1.1 L	20000	24000	35	3	872
1.25 L	20000	25000	35	3	908
2 L	20000	40000	35	3	1453

Fuente: (Propia, 2019)

En la tabla 10 se detallan datos de la Línea 3 de producción: a cuál presentación de producto corresponden los datos, la velocidad medida en Botellas por hora, el flujo del producto el Litros por hora, la temperatura a la que entra el intercambiador de calor y la temperatura a la que sale del mismo y por ultimo lo importante la capacidad de refrigeración necesaria.

Tabla 11. Capacidad instalada en el Intercambiador Línea #3

Fabricante	Hansa	Condiciones de diseño	Fabricante	Th. Witt	#105133/41
Tipo	TIDS		Tamaño	Ø950 x 2950mm	
Año	KROHO	PHE	Fabricante	Alfa Laval	#30103-28041
Serial	#00 079 10		Diseño	871 kW, 30,000 l/h, tin + 28°C, tout +3°C	
Observaciones	Varias modificaciones en el panel de control, nuevo controlador de nivel, solo queda una válvula piloto (1x CVP). Operación con bomba de refrigerante. Sin aislamiento. Las condiciones de diseño de PHE difieren de las necesidades reales.				

Fuente: (Propia, 2019)

En la tabla 11 se detallan datos del intercambiador instalado en la Línea 3 de producción: Marca del mismo, modelo, serie, el tamaño aproximado del separador y fabricante del mismo, placas en donde se realiza el intercambio de calor, el fabricante y modelo de las mismas, así como la capacidad que soporta el diseño y por ultimo un comentario con las observaciones de la comparación de la capacidad demandada vs la capacidad instalada.

Tabla 12. Capacidad de consumo Línea #4 EMSULA

Línea # 4			VMC		
Presentación	Velocidad (B/h)	Flujo (L/h)	Tentrada (C)	Tsalida (C)	Capacidad (kW)
7 oz	24000	4968	35	3	180
600 mL	24000	14400	35	3	523

Fuente: (Propia, 2019)

En la tabla 12 se detallan datos de la Línea 4 de producción: a cuál presentación de producto corresponden los datos, la velocidad medida en Botellas por hora, el flujo del producto el Litros por hora, la temperatura a la que entra el intercambiador de calor y la temperatura a la que sale del mismo y por ultimo lo importante la capacidad de refrigeración necesaria.

Tabla 13. Capacidad instalada en el Intercambiador Línea #4

Fabricante	VMC	Condiciones de diseño	Fabricante	VMC	#305
Tipo		PHE	Tamaño	Approx.. Ø850 x 2800mm	
Año		LWC150S	Fabricante	ARAX	#154A1013
Serial		72 Placas	Diseño	625 kW, 58,830 l/h, tin + 19°C, tout +5°C, to +2°C	

Fuente: (Propia, 2019)

En la tabla 13 se detallan datos del intercambiador instalado en la Línea 4 de producción: Marca del mismo, el tamaño aproximado del separador y fabricante del mismo, número de placas en donde se realiza el intercambio de calor, el fabricante y modelo de las mismas, así como la capacidad que soporta el diseño, en este caso las condiciones de diseño si cubren la demanda.

Tabla 14. Capacidad de consumo Línea #7 EMSULA

Línea # 7			Mezclador Krones		
Presentación	Velocidad (B/h)	Flujo (L/h)	Tentrada (C)	Tsalida (C)	Capacidad (kW)
10 oz	18000	5323	35	20	90
12 oz	18000	6390	35	20	108
16 oz	15000	7097	35	20	120

Fuente: (Propia, 2019)

En la tabla 14 se detallan datos de la Línea 7 de producción: a cuál presentación de producto corresponden los datos, la velocidad medida en Botellas por hora, el flujo del producto el Litros por hora, la temperatura a la que entra el intercambiador de calor y la temperatura a la que sale del mismo y por ultimo lo importante la capacidad de refrigeración necesaria.

Tabla 15. Capacidad instalada en el Intercambiador Línea #7

Fabricante	Hansa	Separator	Fabricante	Th. Witt	#00022468
Tipo	TIDS		Tamaño	Ø660x1987mm	
Año	KROHO 4	PHE	Fabricante	Alfa Laval	#30108-06614
Serial	#12 36 002		Diseño	270 kW, 9,000 l/h, tin + 28°C, tout +3°C	

Fuente: (Propia, 2019)

En la tabla 15 se detallan datos del intercambiador instalado en la Línea 7 de producción: Marca del mismo, modelo, serie, el tamaño aproximado del separador y fabricante del mismo, placas en donde se realiza el intercambio de calor, el fabricante y modelo de las mismas, así como la capacidad que soporta el diseño, la capacidad instalada soporta perfectamente la demanda.

Tabla 16. Capacidad de consumo Azúcar

AZUCAR (Flujo)		Tentrada (C)	Tsalida (C)	Capacidad (kW)
40-50 Gal/min	9-11.4 m3/h	40	8	335-424
40-50 Gal/min	9-11.4 m3/h	50	8	440-557
40-50 Gal/min	9-11.4 m3/h	60	8	544-690

Fuente: (Propia, 2019)

En la tabla 16 se detallan datos de la capacidad consumida por la línea de azúcar: el flujo tanto en Galones por minuto como en metros cúbicos por hora, también se detallan la temperatura de entrada y la de salida y por último la capacidad que consume dependiendo la temperatura de entrada.

Tabla 17. Capacidad instalada en el Intercambiador Azúcar

Fabricante	Desconocido	Separator	Fabricante	Phillips	#1244800-01
Año	2012		Tamaño	Approx. Ø250x850mm	
		PHE	Fabricante	Sondex	#14994
			Diseño	200 kW, 10,140 l/h, tin + 25°C, tout +8°C, to +3°C	
Observaciones	El diseño es demasiado bajo para San Pedro Sula (pre enfriamiento por torre de enfriamiento), separador extremadamente pequeño, PHE demasiado pequeño para la capacidad requerida.				

Fuente: (Propia, 2019)

En la tabla 17 se detallan datos del consumidor instalado en la Línea de azúcar: Marca del mismo, modelo, serie, el tamaño aproximado del separador y fabricante del mismo, placas en donde se realiza el intercambio de calor, el fabricante y modelo de las mismas, así como la capacidad que soporta el diseño y por ultimo un comentario con las observaciones de la comparación de la capacidad demandada vs la capacidad instalada.

La demanda total del sistema será la suma del consumo máximo de cada línea como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 18. Capacidad de consumo Total EMSULA

Consumidor	Capacidad (kW)
Línea 1	954
Línea 2	1112
Línea 3	1453
Línea 4	523
Línea 7	120
Azúcar	690
Consumo total	4852

Fuente: (Propia, 2019)

Considerando que la mayoría del tiempo no se trabaja a plena carga y que no todas las líneas estarán a máxima producción al mismo tiempo podría estimarse un consumo de 85% podríamos concluir un consumo total de 4124.2 kW

5.3 CALCULO DE LA OFERTA MÁXIMA

La oferta estaría limitada por el elemento de menor capacidad en el ciclo de refrigeración, por lo mismo se presentarán junto a su ficha técnica de forma que se pueda hacer comparación:

Tabla 19. Capacidad Condensador 1 EMSULA

Fabricante	BAC	Condiciones de diseño	tc	96.3°F	35.7°C
Tipo	VC2-1160S		t-humedo	78°F	25.6°C
Serial	EU012663901-MAD	Condiciones de operación	Capacidad	822,7 Toneladas	2,839 kW
Velocidad	1200 rpm		tc	Depende de la carga	
Dibujo	BAC-9857A	Motor (4x)	Ventilador	4x 20 HP	1,800 rpm
		Motor	Bomba	5 HP	1,800 rpm

Fuente: (Propia, 2019)

En la tabla 19 se detallan datos del Condensador #1 de EMSULA: Marca del mismo, modelo, serie, las condiciones de diseño como tc: temperatura sobre presión de condensación y la temperatura de bulbo húmedo; la capacidad de refrigeración en condiciones de operación y el caballaje y velocidad de los motores y la bomba.

Tabla 20. Capacidad Condensador 2 EMSULA

Fabricante	BAC	Condiciones de diseño	tc	95°F	35°C
Tipo	VC2-957/S		t-humedo	80°F	26.7°C
Serial	U065215402	Condiciones de operación	Capacidad	8,595 MBH	2,519 kW
			tc	Depende de la carga	
Dibujo	BAC-11899AA	Motor (3x)	Ventilador	3x 20 HP	1,800 rpm
		Motor	Bomba	7.5 HP	1,800 rpm

Fuente: (Propia, 2019)

En la tabla 20 se detallan datos del Condensador #2 de EMSULA: Marca del mismo, modelo, serie, las condiciones de diseño como tc: temperatura sobre presión de condensación y la temperatura de bulbo húmedo; la capacidad de refrigeración en condiciones de operación y el caballaje y velocidad de los motores y la bomba.

La suma de las capacidades de ambos condensadores dará como resultado la capacidad de la etapa de condensación del sistema siendo esta 5358 Kw.

Tabla 21. Capacidad Compresores EMSULA

COMPRESOR					
Marca	Vilter	Condiciones de diseño	to Temp/P. Evaporación	30-40 psi	(-8.7)-(-3.5) C
Modelo	VMC458XL		tc Temp/P. Condensación	150-180 psi	(29)-(34.5) C
Velocidad	1200 rpm	Motor	Baldor/Marathon	150 HP	1780 rpm

Fuente: (Propia, 2019)

Tabla 22. Especificaciones Compresores EMSULA

ITEM		452XL	454XL	456XL	458XL	4512XL	4516XL
Number of Cylinders		2	4	6	8	12	16
Maximum RPM		1200	1200	1200	1200	1200	1200
Bore & Stroke - In. (mm)		4½x4½ (114x114)	4½x4½ (114x114)	4½x4½ (114x114)	4½x4½ (114x114)	4½x4½ (114x114)	4½x4½ (114x114)
CFM @ Maximum RPM (m³/hr)		99.4(169)	199(338)	298(507)	398(676)	597(1014)	796(1352)
Tons(Kcal/hr x 10³) Refrigeration @ 95°F Condensing	R-717 (10°F)	24(73)	49(148)	73(221)	97(293)	146(442)	195(590)
	R-22 (20°F)	29(88)	59(178)	88(26)	117(354)	176(532)	235(711)
	R-290 (0°F)	16(48)	31(94)	47(142)	62(187)	94(284)	125(378)
Suction Connection - Inches (mm)		2½(64)	3(76)	4(102)	4(102)	5(127)	6(152)
Discharge Connection - Inches (mm)		2(51)	2½(64)	3(76)	3(76)	Two 3(76)	Two 3(76)
Unit Weight Less Motor - Lbs. (Kg.)		1900(862)	2700(1225)	3100(1406)	3400(1542)	5300(2404)	5800(2630)
Oil Charge - Gallons (Liters)		5(19)	7(27)	7(27)	7(27)	14(53)	14(53)
Standard Steps of Unloading (%)		0	50	33/66	24/50	33/66	25/50
Option 1 Steps of Unloading (%)		50	25/50/75	-	25/50/75	-	25/50/75
Option 2 Steps of Unloading (%)		100	50/100	33/66/100	25/50/75/100	33/66/100	25/50/75/100
Maximum Discharge Temp. - °F (°C)		300(149)	300(149)	300(149)	300(149)	300(149)	300(149)
Crankcase Oil Temp. Range - °F (°C)		110-130 (43-54)	110-130 (43-54)	110-130 (43-54)	110-130 (43-54)	110-130 (43-54)	110-130 (43-54)

Vilter reserves the right to make changes in design and specifications without notice.

Fuente: (Vilter, 2017)

Los compresores Vilter (330 m³/h) tienen una capacidad nominal de 485Kw, 9 unidades están disponibles con una capacidad de refrigeración 9 x 485kW = 4,365 kW. Debido a las condiciones de operación reales (presión de succión de solo 23 psi, solo 9 x 340 kW = 3,060 kW están disponibles)

Intercambiadores de Calor

Es más conveniente el análisis individual puesto que depende de la demanda de cada línea específica y es necesario un aumento de la capacidad de la misma, de igual forma se presenta la capacidad total detallada en la tabla siguiente:

Tabla 23. Capacidad Intercambiadores de calor EMSULA

Consumidor	Capacidad (kW)
Línea 1	856
Línea 2	871
Línea 3	871
Línea 4	625
Línea 7	270
Azúcar	200
Capacidad total	3693

Fuente: (Propia, 2019)

Podemos concluir que la oferta total del sistema de refrigeración debido a las limitantes es la capacidad de los compresores de Amoniaco, es decir, 3,060 kW están disponibles, la cual se queda corta respecto a la demanda real necesaria del sistema.

5.4 INEFICIENCIAS

“Se pueden producir datos más “ricos” y variados mediante la multiplicidad de observaciones, ya que se consideran diversas fuentes y tipos de datos, contextos o ambientes y análisis” (Todd, Nerlich & McKeown, 2004).

EMSULA utiliza mucho la tercerización en diversas áreas entre ellas: soldadura, albañilería, electricidad, vidriera, etc. El mantenimiento a equipos auxiliares no es la excepción, por eso se solicitó el apoyo y puede dar confianza de la veracidad de los datos el Ing. Rafael Prado encargado de todo lo referente al sistema de refrigeración.

5.4.1 PROBLEMAS EN LOS COMPRESORES

Se detectaron varios problemas en el área de compresores:

Existe un consumo excesivo de aceite en los compresores esto puede indicar que el aceite se está filtrando a la tubería del refrigerante y al adherirse a esta funciona como aislante, lo cual

es malo porque si esto sucede en el proceso de intercambio de calor, evita una transferencia optima

Las válvulas check, que evitan el paso del fluido cuando el compresor está en desuso, están mal instaladas. Existen dos tipos de válvulas en el sistema, una es de globo que está realizando correctamente su función y la otra es por gravedad que se encuentran en posición horizontal y por eso no evita el paso hacia el compresor cuando este no está trabajando lo que provoca perdida e ineficiencia en esa etapa del proceso.



Ilustración 40. Válvula Antirretorno de gravedad

Fuente: (Propia, 2019)

La temperatura de succión medida es inferior a la necesaria y causa una menor capacidad de refrigeración disponible con el mismo consumo de energía. Esto conducirá a más horas de funcionamiento de los compresores y, por lo tanto, a un mayor consumo total de energía. Esto se debe principalmente a una lectura incorrecta del sensor de presión de succión. La lectura que se tiene es solo de 9 psi y se compensa con +25 psi. No está claro si esto es causado por un sensor incorrecto (modelo incorrecto con un tipo de sensor incorrecto, la etiqueta no es legible) o problemas de cable.

De los 10 compresores instalados solo están en funcionamiento 9 ya que el compresor #1 se dañó y al final en lugar de repararse a servido como fuente de piezas de repuesto para los demás compresores, esto ha mermado un poco la capacidad del sistema de compresión.



Ilustración 41. Compresor Vilter #1 Desmantelado

Fuente: (Propia, 2019)

5.4.2 PROBLEMAS EN LOS CONDENSADORES

Los condensadores están encerrados en su ubicación actual, esto provoca que no enfríen bien porque no hay un buen flujo de aire lo cual manda liquido menos helado al receptor, esto resulta en absorber menos calor de los consumidores.

Sumado a esto se necesita dar mantenimiento con mayor frecuencia ya que muchas partes están obstruidas por la suciedad.

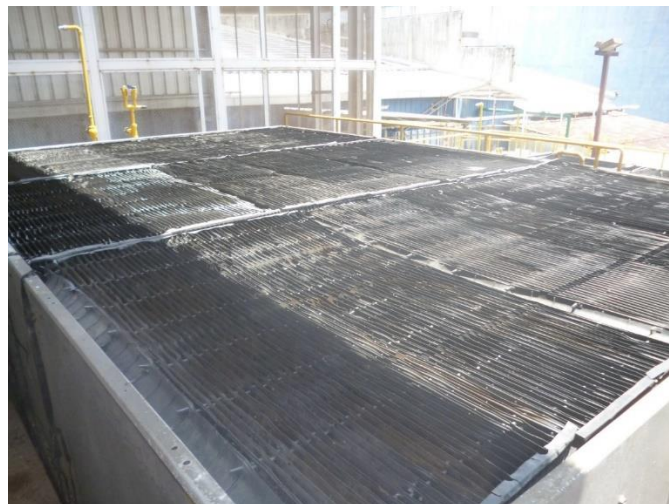


Ilustración 42. Salida de aire de condensados

Fuente: (Propia, 2019)

5.4.3 DEFICIENCIA EN LA CAPACIDAD INSTALADA DEL AZÚCAR

El diseño de la unidad del evaporador era para una temperatura del agua muy baja (25 °C) en la entrada (demasiado baja para San Pedro Sula). La capacidad del PHE es demasiado pequeña pero la temperatura de evaporación es más baja y con una temperatura de admisión más alta del agua desde el primer paso de enfriamiento (hasta +60 °C), la capacidad del PHE aumentará. Aquí tenemos la razón principal de la baja temperatura de evaporación en el sistema de refrigeración completo y la razón principal de las pérdidas de energía.

Pero el pequeño recipiente en la parte superior del PHE no es realmente un separador y con una carga más alta (hasta 3.5 veces las condiciones de diseño), este tanque será demasiado pequeño, y una gran cantidad de amoníaco líquido volverá al receptor de baja presión.

5.4.4 PROBLEMAS DE CORROSIÓN

La mayoría de las partes de la tubería de amoníaco están corroídas. Especialmente las ubicaciones, donde está instalado el aislamiento, son muy críticas.

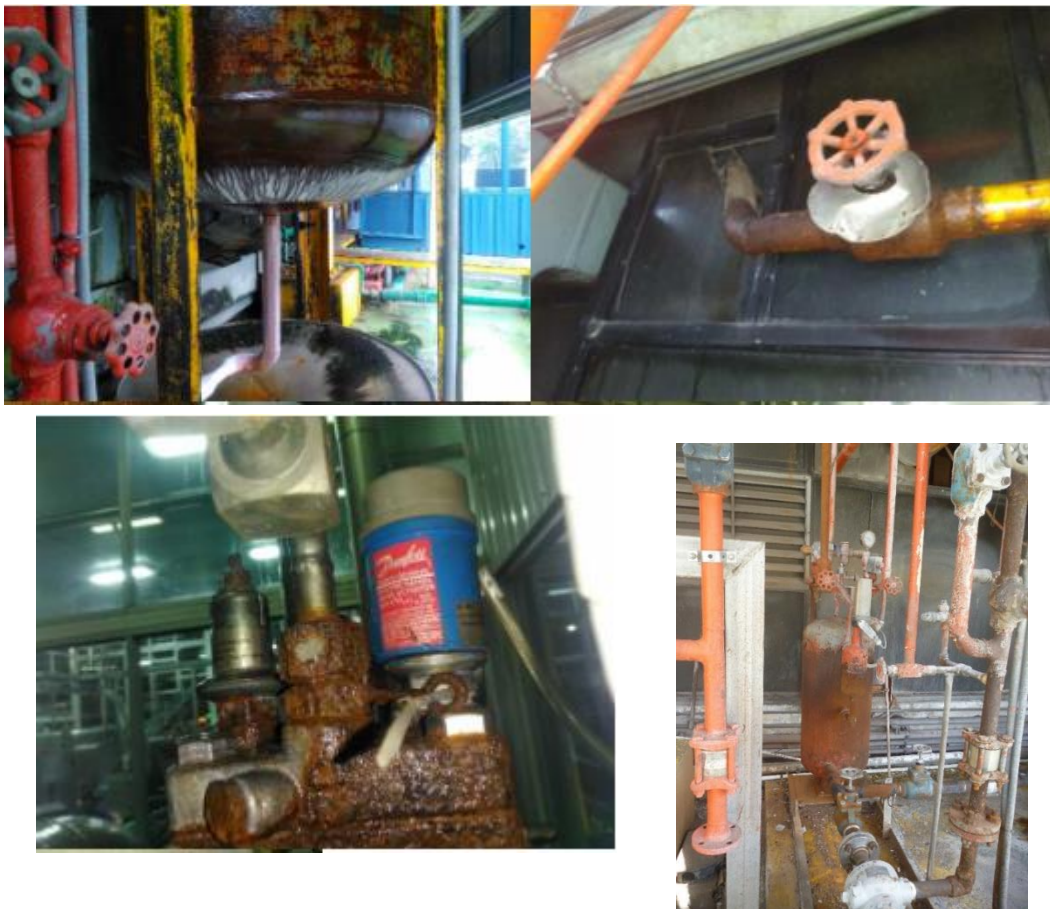


Ilustración 43. Tuberías y elementos corroídos

Fuente: (Propia, 2019)

5.4.4 PROBLEMAS EN EL RECIBIDOR

El receptor de amoníaco tiene un nivel demasiado bajo (debería estar en el 30%), que se encuentre por debajo de ese valor provoca que se mande gas y no solo líquido a los consumidores.

5.5 MEJORAS A IMPLEMENTAR

Existe una serie de mejoras que se describirán a continuación, estas serán entregadas a la jefatura de mantenimiento para su evaluación y posible aprobación, de esta forma planificar el tiempo y el procedimiento para realizar dichos cambios. Hay que tomar en cuenta que el sistema no es por etapas por lo cual deben hacer paro de varias líneas de producción en cualquier cambio, lo cual es muy difícil por la constante demanda alta de producción, por lo que las propuestas aprobadas deberán esperar un tiempo para implementarse de a poco.

5.5.1 PROPUESTA DE MEJORA A LA ETAPA DE COMPRESIÓN

Es necesario la reinstalación de las válvulas check que funcionan por gravedad y moverlas de forma vertical esto contribuiría a que los compresores no realicen esfuerzo cuando se encuentran apagados, además de que se evitarían pérdidas.

Se deben instalar separadores de aceite en los compresores, algunos de estos ya tienen filtros, pero no funcionan porque ya terminaron su vida útil, es importante cambiarlos ya que se mejoraría la eficiencia en el intercambio de calor además de que se ahorraría en estar aceitando los compresores.

Verificar el correcto funcionamiento de los sensores de presión y buscar el origen de la baja presión de succión, solucionando este problema aumentaría de buena manera la capacidad de la etapa de compresión ya que estos podrían trabajar a plena carga.

Se debe reparar o reemplazar el compresor #1 que está inactivo esto aumentaría la capacidad de la etapa de la compresión, cubriendo la demanda.

A continuación, se detallan los costos de la inversión para estas mejoras:

Tabla 24. Costos de las mejoras a la etapa de compresión

Mejora a la etapa de Compresión	Costo
10 separadores de aceite	L 500,000.00
Reconstrucción del compresor Vilter #1 458XL	L 200,000.00
Reinstalación de Válvulas Check	L 20,000.00
Total	L 720,000.00

Fuente: (Ingeniería Moderna, S. De R.L. distribuidor autorizado Vilter, 2019)

Beneficios:

- ✚ Ahorro en el consumo de aceite. Actualmente se consumen 10 galones a la semana, las condiciones normales no deberían pasar más de 2 galones.
- ✚ Cubrir demanda total de refrigeración aumentando la capacidad de refrigeración de la etapa de compresión a 4122.5 Kw trabajando con los 10 compresores a un 85% de eficiencia y reduciendo paros en gran medida lo cual reduce las perdidas.
- ✚ Ahorro energético pues se evita que los compresores trabajen innecesariamente, se estima hasta un 15% de ahorro energético.
- ✚ Prolongación del tiempo de vida del equipo.

5.5.2 PROPUESTA DE MEJORA A LA ETAPA DE CONDENSACIÓN

Se necesita elevar o reubicar los condensadores a una zona con más flujo de aire, esto mejoraría la condensación de forma estupenda incluso a una temperatura más baja.

También se recomienda agregar una estación de enfriamiento para enfriar el agua antes de entrar a los condensadores, ya que estos a su vez sacan calor del refrigerante con agua y ventiladoras, esto mejoraría mucho la eficiencia de condensación.

Se propone desarrollar un sistema de retorno de condensación que pre enfríe el gas antes de llegar a los condensadores y así se logre condensar a menor temperatura y en el intercambio de calor el refrigerante absorba más calor del producto.

Tabla 25. Costos de las mejoras a la etapa de condensación

Mejora a la etapa de Condensación	Costo
Reubicar los condensadores(estructura, transporte, reconexión de tubería)	L 15,000.00
Estación de pre enfriamiento del agua	L 250,000.00
Sistema de retorno de condensación	L 45,000.00
Total	L 310,000.00

Fuente: (Servicios Prado, S. De R.L. & HD Equipamientos Industriales, 2019)

Tabla 26. Detalle de costos del Sistema de retorno de condensación

Sistema de retorno de condensación	Costo
Tubería acero inoxidable 316	L 15,000.00
Válvulas, Uniones, Férulas, codos	L 5,000.00
Mano de obra	L 25,000.00
Total	L 45,000.00

Fuente: (AC-Fernández Dealer , 2019)

- ✚ Todas estas mejoras tienen la finalidad de condensar el refrigerante a una temperatura más baja, esto tendría como resultado un mayor intercambio de calor en el producto y un mejor control de temperatura del proceso.

5.5.3 PROPUESTA DE MEJORA A LA ETAPA DE INTERCAMBIO DE CALOR

Como se pudo notar la capacidad que ofrece las condiciones de diseño se queda corta respecto a la demanda que se exige en varias líneas de producción por lo que se propone aumentar la capacidad de los intercambiadores de calor aumentando el área de contacto del refrigerante con el producto y eso es posible si se agregan más placas al intercambiador.

Ilustración 44. Intercambiador de calor EMSULA



Fuente: (Propia, 2019)

También se pudo observar deficiencias en el sistema de control de nivel en los tanques de almacenamiento de los consumidores, estos tienen un sistema de flote mecánico que abre y cierra la válvula que da el paso para el intercambio con el producto, pero al realizarlo de esta forma se pierde una de las funciones del tanque y es la de funcionar como válvula de expansión controlando la presión, esto ha provocado aumento en las presiones y podría darse una fuga.

Para lo cual se propone cambiar el sistema mecánico que posee la línea 1, 3 y reemplazarlo por un sistema de dos flotes para saber el nivel mínimo y máximo, con una válvula electromecánica que dependiendo del nivel abra o cierre, además de poner una columna de nivel por el hecho que actualmente no puede verificarse realmente si el sistema está funcionando de forma correcta.

Tabla 27. Detalle de costos del Sistema de retorno de condensación

Mejora a la etapa de Intercambio de Calor	Costo
Instalación de más placas al intercambiador de calor (x10)	L 87,500.00
Materiales para instalación de columnas de nivel y cambio de sistema mecánico	L 10,000.00
Mano de obra instalación de columnas de nivel y cambio de sistema mecánico	L 15,000.00
Total	L 112,500.00

Fuente: (Froztec, 2019)

Beneficios:

- ✚ Mayor transferencia de calor del refrigerante con el producto y por ende una salida de producto con una temperatura ideal de y mejor controlada
- ✚ Mejor control del sistema de llenado del tanque al ser electromecánico se vuelve más preciso y al instalar las columnas permite una visibilidad y control de nivel.
- ✚ Mayor seguridad y mayor eficiencia al poder realizar una intervención manual en caso de emergencia.

5.5.4 PROPUESTA DE MEJORA AL SISTEMA EN GENERAL

Hay muchos elementos como válvulas y filtros dañados o inservibles, es importante realizar un levantamiento de los que no funcionan correctamente para darles mantenimiento o cambiarlos, esto es imprescindible para el buen funcionamiento del sistema, incluso la falla en la baja presión de succión podría estar relacionado a eso.

El receptor de amoniaco tiene un sistema de visores para saber el nivel, es preciso cambiarlo para tener una mejor visibilidad ya que los visores solo muestran un punto u otro sin ninguna constancia de un nivel óptimo, se propone poner una columna de nivel que muestre de forma visible y clara el nivel del tanque.

Actualmente se realiza una purga manual a la trampa de presión de amoniaco para eliminar aceite o residuos, esto además de ineficiente es peligroso, por eso se propone instalar un sistema automatizado o semiautomatizado que haga el proceso sin la intervención directa de la mano humana y que a la vez optimice dicho sistema.

Ilustración 45. Control del receptor de amoniaco de baja



Fuente: (Propia, 2019)

Se debería considerar instalar un sistema Scada en donde este el control de al menos todos los consumidores de refrigeración, con esto se podría monitorear la temperatura de una forma más sencilla a la vez que se pueden detectar y corregir problemas de forma más sencilla.

Tabla 28. Costos de las mejoras del Sistema en general

Mejora al Sistema en general	Costo
Control para purga automática de trampa de amoniaco	L 25,000.00
Instalación de Scada para monitorear todos los consumidores	L 205,000.00
Mantenimiento del sistema en general(revisión general y cambiar o reparar elementos dañados)	L 65,000.00
Total	L 295,000.00

Fuente: (AC-Fernández Dealer & AINSA , 2019)

Tabla 29. Detalle de costos de la instalación de la Scada

Instalación de Scada para monitorear todos los consumidores	Costo
Instalación de sensores(flujo, presión y temperatura) L1,L2,L3,L4,L7,Azucar	L 160,000.00
Panel eléctrico	L 10,000.00
Scada, PLC y módulos	L 35,000.00
Total	L 205,000.00

Fuente: (AINSA & OMEGA, 2019)

Tabla 30. Detalle de costos del Mantenimiento del Sistema en General

Mantenimiento del Sistema en general	Costo
Mano de Obra	L 25,000.00
Reemplazo de Válvulas, filtros y sensores dañados	L 30,000.00
Mantenimiento de Válvulas y sensores	L 10,000.00
Total	L 65,000.00

Fuente: (AC-Fernández Dealer & Servicios Prado, 2019)

Beneficios:

- ✚ Máxima eficiencia para corregir fallas ya que el sistema Scada permitirá monitorear todo el sistema de consumidores, esto permitirá resolver problemas en pocos minutos, disminuyendo el tiempo de paros de forma drástica.
- ✚ Mejor rendimiento del sistema. Al realizar un mantenimiento general el sistema será más eficaz, logrando trabajar en óptimas condiciones de capacidades de refrigeración de cada etapa, incluso cubriendo la demanda de producción sin problemas.

- ✚ Mayor seguridad y ahorro del refrigerante. Al realizar la purga automática no solo se reducen los riesgos de accidentes, sino también solo se desechan las impurezas necesarias y se evita que se esté botando amoniaco cada día.

5.6 TRABAJOS REALIZADOS Y RESULTADOS

Las propuestas presentadas para la etapa de compresión fueron aprobadas y tanto los filtros como las partes para la reconstrucción del compresor #1 están en proceso de solicitud de pedido. Y las válvulas Check fueron reinstaladas con éxito.

Para la etapa de condensación las propuestas todavía se encuentran en proceso de evaluación puesto que cualquier modificación implica parar la producción para poder llevar a cabo el trabajo ya sea reubicar los compresores o una modificación al sistema con la estación de enfriamiento o el retorno de condensados.

Se aprobaron las propuestas de la etapa de condensación para la línea #1 y línea #3 y se cambió el sistema mecánico por uno de dos flotes electromecánico, también se instalaron las columnas de nivel que permiten visualizar el nivel del tanque. Las placas para aumentar la capacidad del intercambiador se encuentran en proceso de solicitud de pedido.

De las propuestas del sistema en general se están evaluando la purga automática y también el sistema Scada para el monitoreo de todas las líneas que necesitan hacer uso del Sistema de refrigeración. Los elementos para el mantenimiento del sistema en general ya se encuentran en solicitud de pedido.

Los resultados de las mejoras realizadas se reflejan en la comparación del mes de abril vs el mes de mayo en las siguientes gráficas, Ilustración 47 e Ilustración 49 que muestran los paros por refrigeración de las Líneas #1 y #3 obteniendo muy buenos resultados.

Se obtuvo una mejora notable en la temperatura de la línea 3, esto da como resultado una disminución del tiempo de paros que se representan en el grafico correspondiente a los datos de la comparación de ambos meses.

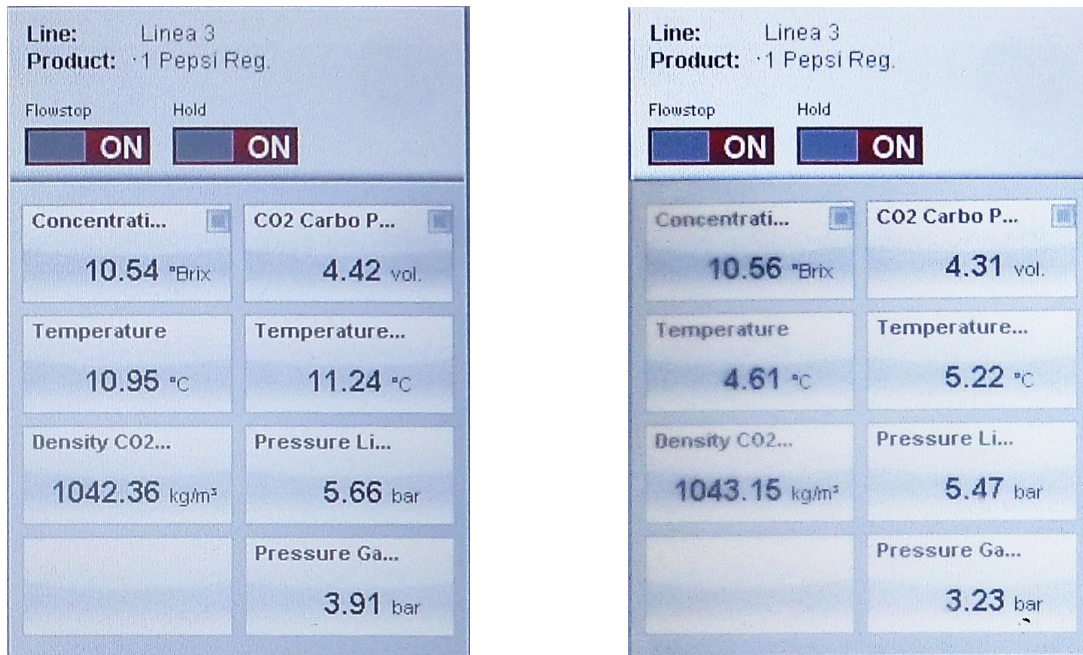


Ilustración 46. Comparación temperatura antes vs temperatura después.

Fuente: (Propia, 2019)

En el siguiente grafico se muestra el registro del tiempo que estuvo parada la línea 3 por problemas de refrigeración durante cada día del mes de abril en azul vs el tiempo de paros en el mes de mayo en naranja. Dando un total del tiempo en el mes de abril de 1840 vs 888 del mes de mayo, eso es una mejora de aproximadamente 51.74%.

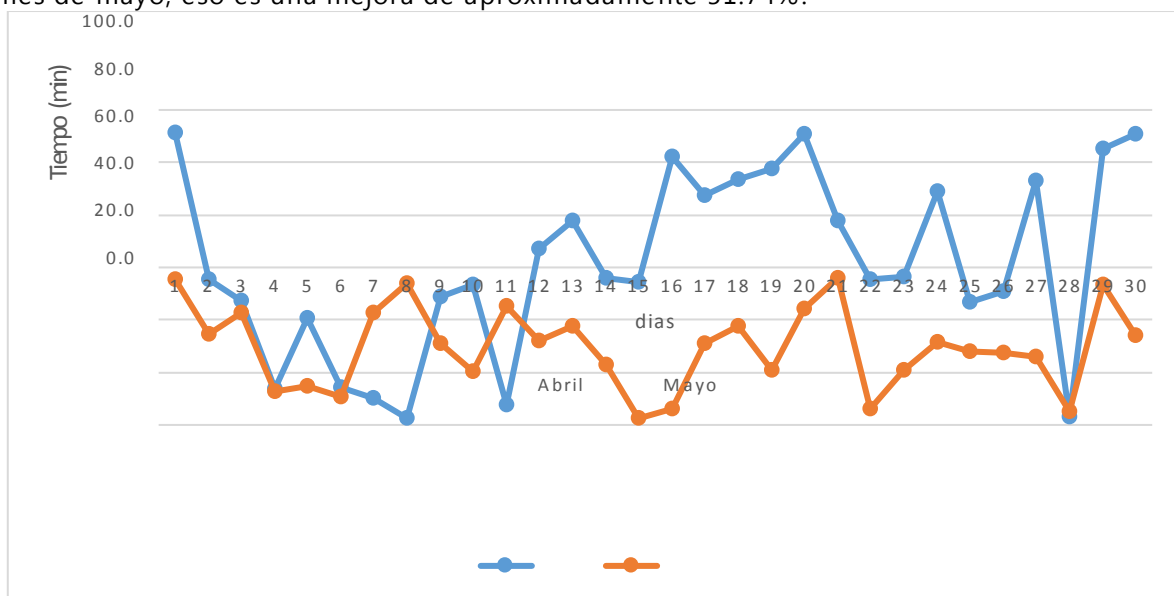


Ilustración 47. Comparación paros de abril vs mayo por refrigeración L3.

Fuente: (Propia, 2019)

En la línea 1 se evaluó y aprobó la propuesta del cambio de control de nivel mecánico a uno con dos flotadores, se brindó apoyo en el desarrollo y los resultados fueron muy positivos. A continuación, se detallan los planos de la unidad de evaporación, así como el sistema de flujo.



Ilustración 48. Comparación temperatura antes y después de la modificación.

Fuente: (Propia, 2019)

En el siguiente grafico se muestra el registro del tiempo que estuvo parada la línea 1 por problemas de refrigeración durante cada día del mes de abril en azul vs el tiempo de paros en el mes de mayo en naranja. Dando un total del tiempo en el mes de abril de 141 vs 31 del mes de mayo, eso es una mejora de aproximadamente 78%.

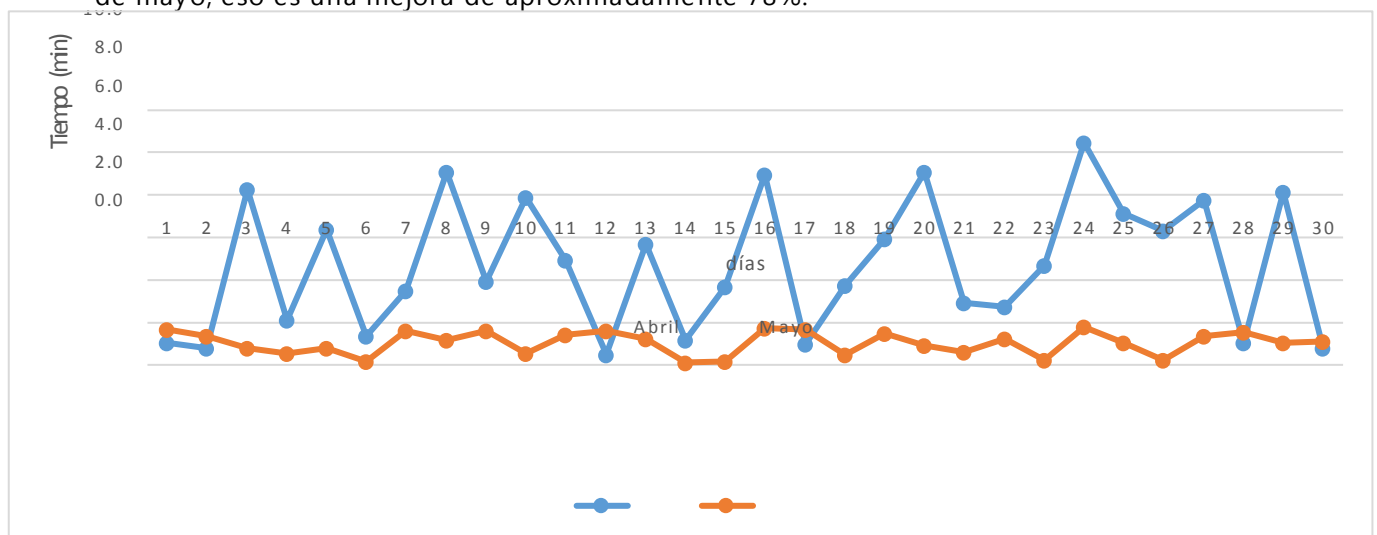


Ilustración 49. Comparación paros de abril vs mayo por refrigeración L1

Fuente: (Propia, 2019)

VI. CONCLUSIONES

- ✚ Se realizó un análisis exhaustivo de todo el proceso de embotellado, determinando problemas y posteriormente generando propuestas para mejorar la eficiencia y eficacia del sistema, de las cuales se pudieron implementar algunas obteniendo buenos resultados y reduciendo la cantidad de paros involuntarios en la línea #1 y #3 de producción.
1. Se investigó a través de métodos como la observación directa y también mediante entrevistas sobre las causas de los paros involuntarios en el proceso de llenado, describiendo los hallazgos encontrados y verificando la hipótesis de la cual se partió y que lo relacionaba a problemas en el Sistema de Refrigeración.
 2. Se describieron los factores que influyen en el control del proceso de llenado evaluando cada uno y su repercusión en el mismo.
 3. Se explicó cómo reducir los paros por averías en el equipo, describiendo los diferentes tipos de mantenimiento y detallando las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.
 4. A través del análisis y un enfoque cuantitativo se logró calcular la capacidad necesaria para cubrir la demanda de refrigeración, mostrando las tablas correspondientes de cada uno de los consumidores y reforzándose de recursos de la empresa y del fabricante, concluyendo una capacidad total de 4124.2 kW
 5. Se detallaron las posibles mejoras que se le pueden hacer al Sistema de Refrigeración de EMSULA que van en cada etapa del circuito cerrado, desde la etapa de compresión, pasando por los condensadores y luego en el intercambio de calor con los consumidores.

VII. RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES A LA EMPRESA

Sacar provecho de las habilidades de los practicantes. Involucrar más a los practicantes en las labores técnicas de esta forma se obtendría un mayor aprendizaje y en caso de alguna avería o fallo el estudiante pueda apoyar de mejor forma.

Mejorar la seguridad industrial. Se apreciaron peligros como la falta del uso de arneses de seguridad para trabajar en lugares altos, maquinas sin guardas de protección, falta de cascos en zonas con posibles objetos cayendo por trabajos simultáneos, manejo de materiales peligroso sin equipo de seguridad adecuado.

Archivar los proyectos realizados en la empresa y darles seguimiento, muchos son muy buenos, pero en ocasiones el estudiante se va y no deja la documentación del mismo, por eso la empresa pierde de sacarle provecho a una base que pulida debería ser de mucha ganancia.

RECOMENDACIONES A LA UNIVERSIDAD

Uso de software. Incluir la enseñanza de varios CAD para la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, software como AutoCAD junto con otros de Autodesk son indispensables en la industria.

Reestructurar el Plan de estudios. Se tienen en cuenta todas las normas internacionales sobre la base mínima que se debe cumplir, pero también se pueden realizar algunos cambios que ayudarían en gran medida a la carrera. Lo más recomendable es hacer primero una retroalimentación con personas que están por egresar de la carrera o personas que trabajan en el rubro y estudian, ellos saben mejor las fortalezas y las debilidades de la carrera a parte de las competencias necesarias que exige la industria.

Remodelar y equipar los laboratorios. Hay necesidad de un laboratorio de Controles de mando para la clase de Sensores y Actuadores, un verdadero laboratorio de Máquinas Herramientas sobre esto se recomienda hacer un convenio con INFOP, Instituto Técnico Hondureño Alemán o algún taller con maquinaria, herramientas y materiales necesarios para al menos desarrollar los laboratorios de la clase con un aprendizaje menos limitado, dejando el laboratorio actual para una clase de Mantenimiento(que debería ser obligatoria) con máquinas y equipo para practicar darle mantenimiento a bombas, mecanismos con engranes, cadenas, rodos, etc.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez Pulido, M. (2003). *Controladores lógicos*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3173546>
- Atkins, P. W., & Jones, L. (2006). *Principios de química: Los caminos del descubrimiento*. Ed. Médica Panamericana.
- Arora, C. P. (2001). *Refrigeration and Air Conditioning* (2a ed.). Tata McGraw-Hill Education
- Baquero, C. M. de O., & Pérez, D. S. (2017). *Utilización de equipos y utillaje en la elaboración y tratamiento de productos alimentarios. INAD0108*. IC Editorial.
- Blüml, S., & Fischer, S. (2006). *El mundo de los envases: Guía técnica y práctica sobre el llenado de productos líquidos* (1.ª ed.). Alemania: Krones Ag.
- Brito, J. E. (2006). *Mecánica de Fluidos*. Pearson Education. Calloni, J. C. (2004). *Mantenimiento Eléctrico Y Mecánico para Pequeñas y Medianas Empresas* (Nobuko). Argentina.
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones*. Madrid, SPAIN: McGraw-Hill Interamericana. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3195878>
- Cengel, Y., & Boles, M. (2012). *Termodinámica* (7.ª ed.). España: McGraw-Hill Interamericana. Ciudad de México: Instituto Mexicano de Contadores Públicos. Recuperado de <http://public.ebib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=5308788>
- Yuni, J. A., Urbano, C. A., & e-libro, C. (2009). *Técnicas para investigar*. Buenos Aires: Editorial Brujas
- Giancoli, D. (2006). *Física: Principios con aplicaciones*. Pearson Educación.

- González Sierra, C. (2012). *Refrigeración industrial: Montaje y mantenimiento de instalaciones frigoríficas*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3227046>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6.ª ed.). MEXICO: McGRAW-HILL.
- IIAR. (1995b). Modulo I - Introducción a la refrigeración con amoniaco. En Programa de IIAR de Educación y Entrenamiento para Refrigeración con Amoniaco. USA. Recuperado a partir de www.iiar.org
- Lijó, F., & Manue, J. (2012a). *Manual de refrigeración* (1.ª ed.). Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3214863>
- Lijó, F., & Manue, J. (2012b). *Manual de refrigeración*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3214863>
- Mendoza Ramírez, A. J. (2013). *Eficiencia energética en las instalaciones de climatización en los edificios (UF0566)*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtual-ebooks/detail.action?docID=4507787>
- Morán, M. J., & Shapiro, H. N. (2012). *Fundamentos de termodinámica técnica* (2ª ed.). España: Editorial Reverté, S.A.
- Navarrete Mesa, J. N. (2016). *Cupertino y la Medicina*. Windmills International.
- Rolle, K. (2006). *Termodinámica* (6.ª ed.). México: Pearson Educación.
- Galpin, T. J. (2013). Fijando objetivos. Recuperado de <http://site.ebrary.com/id/11038755>
- Niño Rojas, V. M. (2011). *Metodología de la investigación diseño y ejecución*. Bogotá (Colombia: Ediciones de la U.

Pardo Álvarez, J. M. (2017). Gestión por procesos y riesgo operacional. Madrid:

Asociación Española de Normalización y Certificación. Recuperado de

<http://public.ebib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=5190227>

Rapin, P. J., & Jacquard, P. (1997). Instalaciones frigoríficas (2a ed.). Barcelona, España:

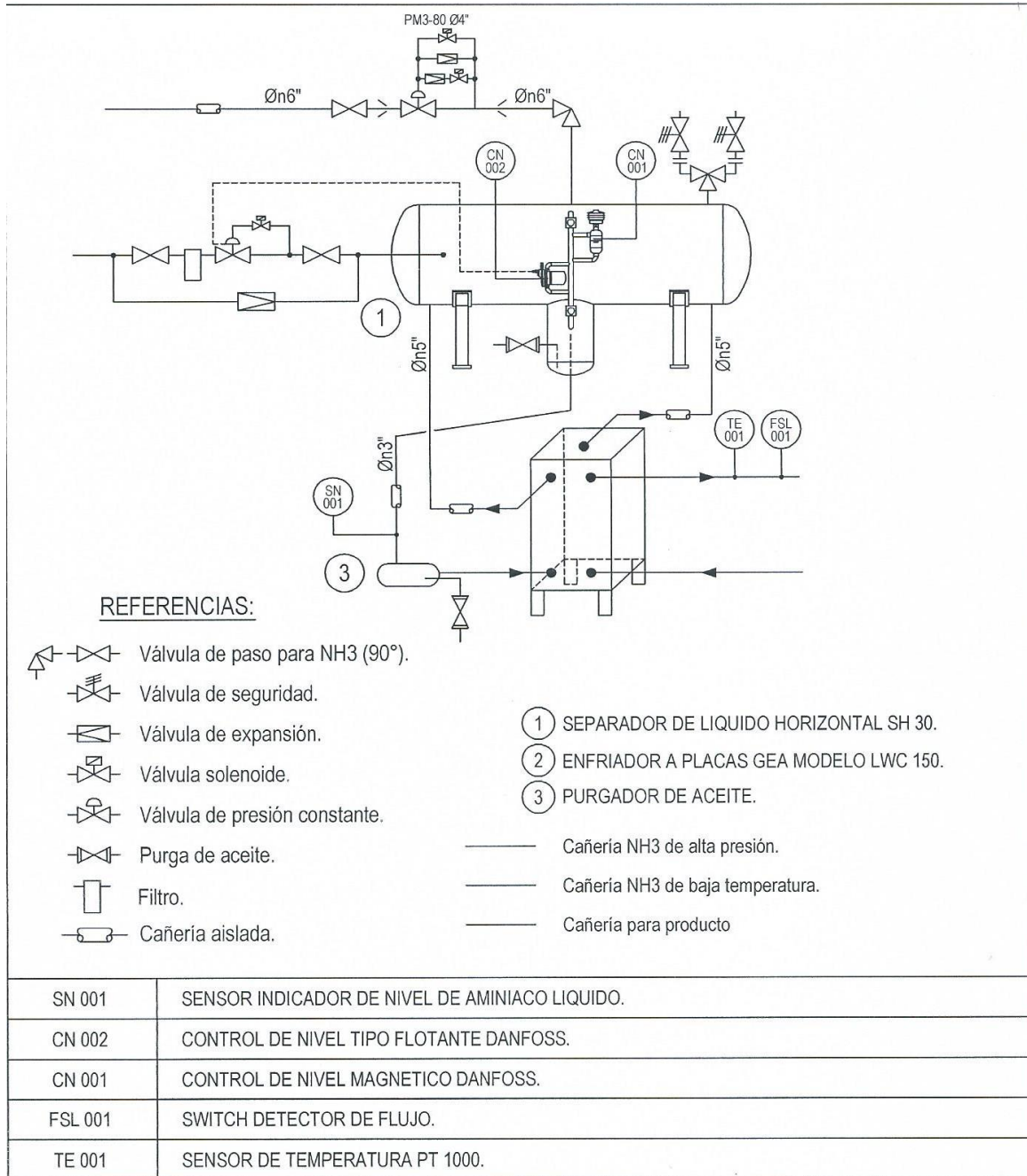
Marcombo

Rojas Cataño, M. de L. (2015). Contabilidad de costos en industrias de

transformación.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Diagrama del flujo del proceso EMSULA



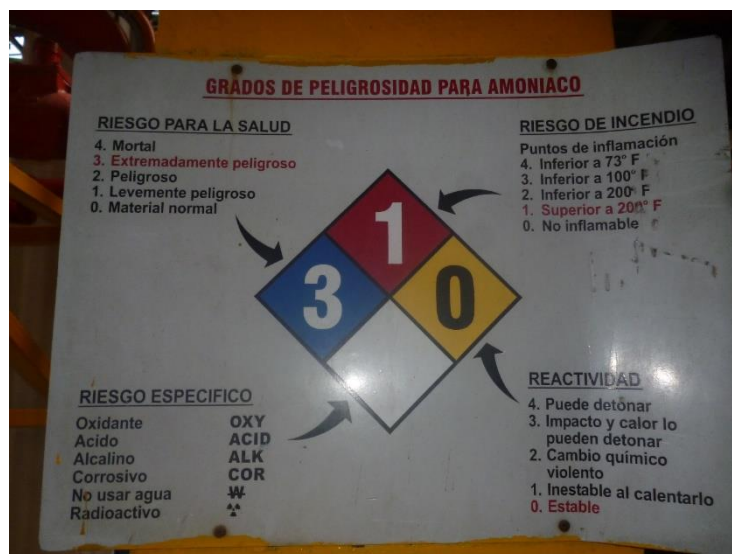
Fuente: (VMC Refrigeraciones, 2019)

Anexo 2. Especificaciones compresores Vilter



Fuente: (Vilter, 2006)

Anexo 3. Peligrosidad del Amoniaco



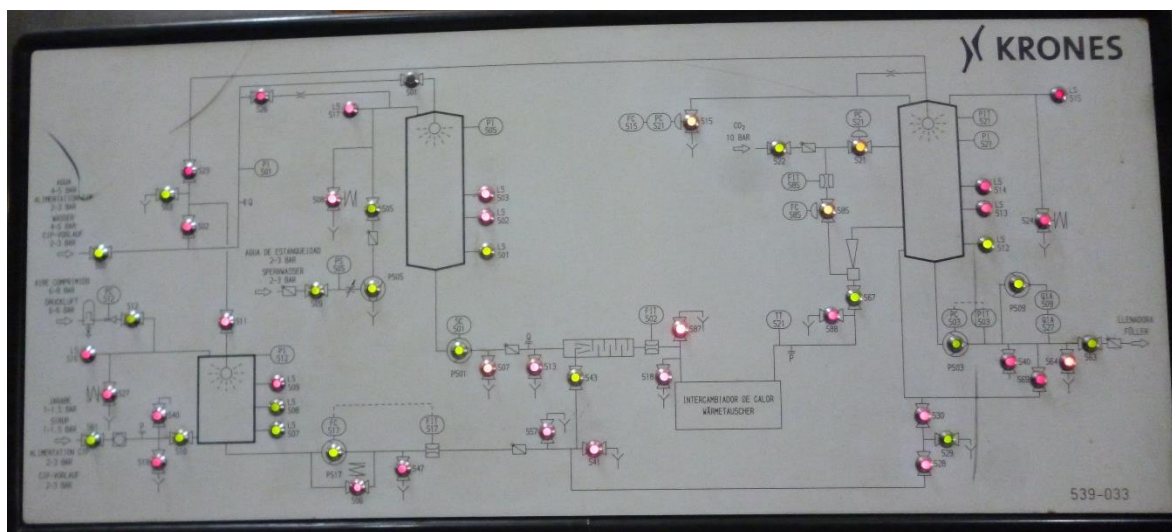
Fuente: (Propia, 2019)

Anexo 4. Llenadora L1



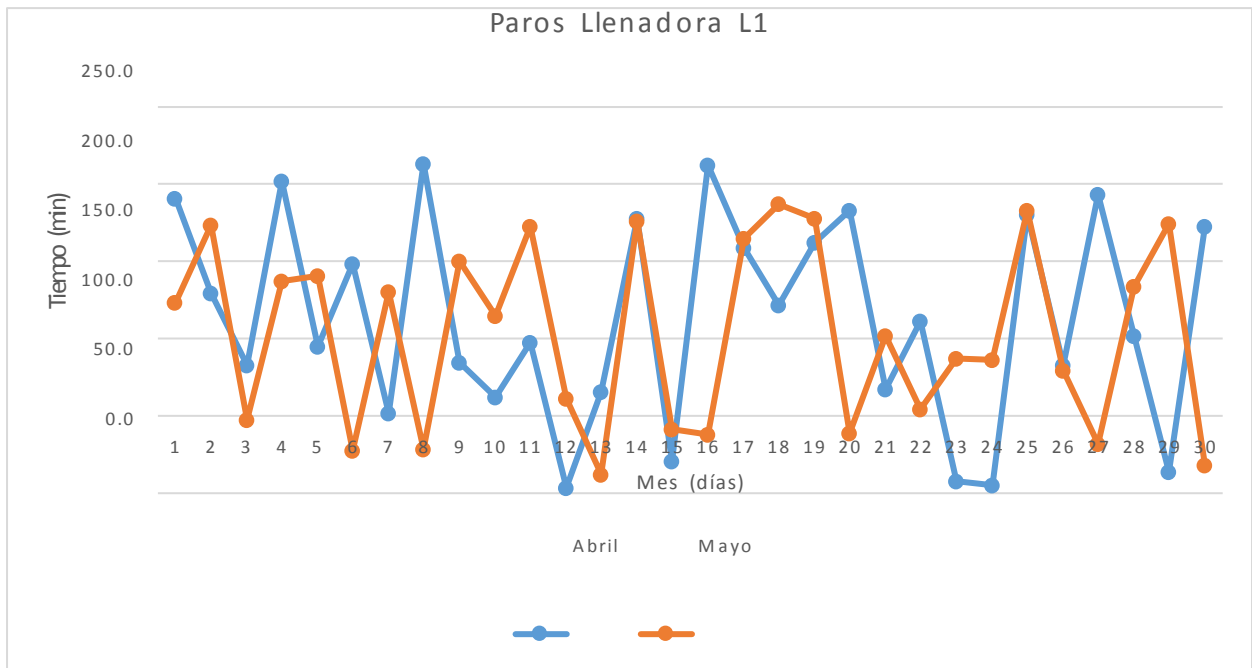
Fuente: (Propia, 2019)

Anexo 5. Diagrama de flujo del producto L3 EMSULA



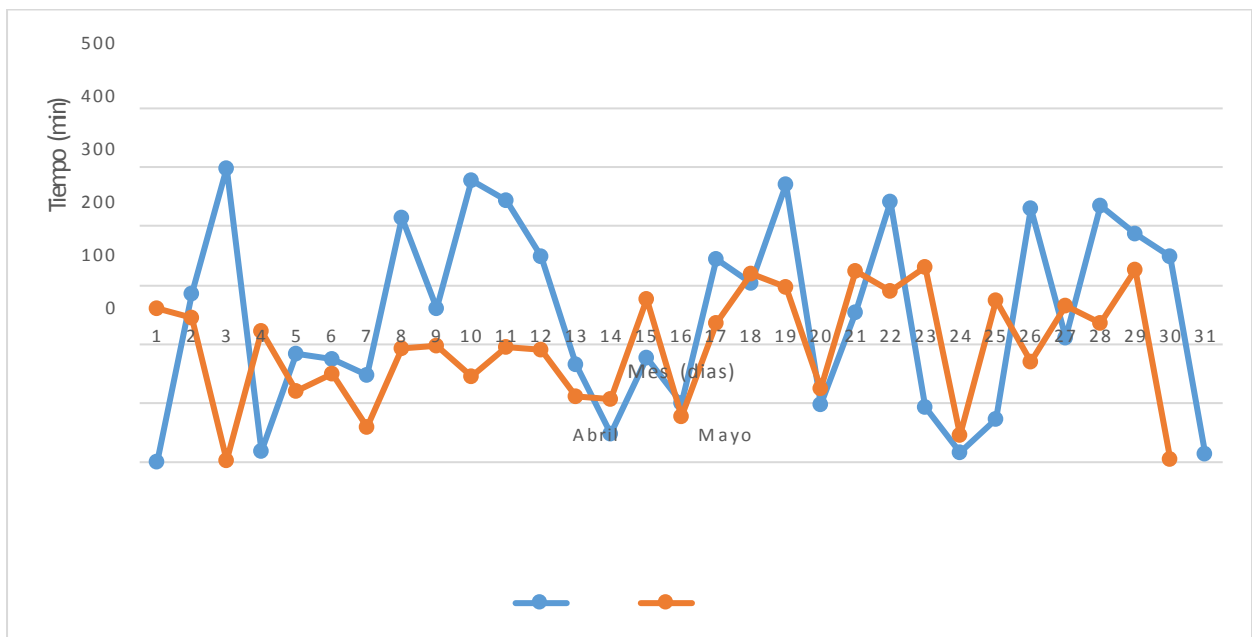
Fuente: (Propia, 2019)

Anexo 6. Comparación Paros abril vs mayo proceso de llenado L1



Fuente: (Propia 2019)

Anexo 7. Comparación Paros abril vs mayo proceso de llenado L3



Fuente: (Propia, 2019)