

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Instalación y evaluación energética de un *chiller* para
el enfriamiento de una máquina sopladora
automática de botellas PET**

Cesar Augusto Ramos Ale

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico

Arequipa, 2020

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ing. Andrés Ramírez Mitani

Agradecimiento

Me gustaría agradecer en estas líneas la ayuda de muchas personas y en especial a mi asesor que me dio su apoyo durante el proceso de investigación y redacción de este trabajo. En primer lugar, quisiera agradecer a mis padres que me han ayudado y apoyado en todo mi producto, a mi tutor, por haberme orientado en todos los momentos que necesité sus consejos.

A todos mis amigos, compañeros de estudio que me ayudaron de una manera desinteresada, gracias infinitas por toda su ayuda y buena voluntad.

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a mi Madre, quien me enseñó que el mejor conocimiento que se puede tener, es el que se aprende por sí mismo. También está dedicado a mi padre, quien me enseñó que incluso la tarea más grande se puede lograr si se hace un paso a la vez.

ÍNDICE

ASESOR.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Dedicatoria	iv
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANEAMIENTO DEL ESTUDIO	3
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1.1 Planteamiento del Problema	3
1.1.2 Formulación del problema.....	4
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.2.1 Objetivo Principal	4
1.2.2 Objetivos Específicos.....	5
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.3.1 Justificación técnica	5
1.3.2 Justificación económica	5
1.3.3 Justificación Social.....	6
1.4 HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES.....	6
1.4.1 Hipótesis General.....	6
1.4.2 Hipótesis Específica.....	6
1.4.4 Variable Independiente	7
1.4.5 Operacionalización de las variables	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	8
2.1.1 Antecedentes internacionales	8
2.1.2 Antecedentes nacionales	9
2.2 BASES TEÓRICAS.....	10
2.2.1 Moldeo por Soplado	10
2.2.2 Descripción del Proceso de Soplado.....	10
2.2.3 Formas de Moldeo por Soplado	10

2.2.3.1	Extrusión del soplado	10
2.2.3.2	Inyección del soplado	12
2.2.3.3	Coextrusión-Soplado	14
2.2.4	Materiales y Productos.....	14
2.2.5	¿Qué es el PET?.....	15
2.2.6	Una botella de PET se plasma en tres pasos continuados	16
2.2.7	Descripción de un Chiller	17
2.2.8	Partes de un Chiller.....	17
2.2.8.1	Partes del sistema Chiller y funcionamiento del circuito de refrigeración	17
2.2.8.2	Funcionamiento de evaporador del Chiller.....	18
2.2.8.3	Funcionamiento de compresor del sistema Chiller.....	18
2.2.8.4	Funcionamiento del condensador del sistema Chiller	19
2.2.8.5	Función de dispositivo de expansión en sistema Chiller	19
2.2.8.6	Partes fundamentales del sistema de refrigeración.....	19
2.2.9	Tipos de Chiller	20
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	23
2.3.1	Sistemas de enfriamiento.....	23
2.3.2	Voltaje.....	23
2.3.3	Corriente eléctrica	24
2.3.4	Compresor	24
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		25
3.1	MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	25
3.1.1	Método	25
3.1.2	Tipo de Investigación	25
3.1.3	Alcance de la Investigación.....	26
3.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	26
3.3	UNIDAD DE ESTUDIO.....	26
3.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	26
3.4.1	Instrumentos de medición	26
3.4.2	Técnicas.....	27
3.4.3	Comprensión de los modelos de Chiller propuestos.....	27
3.4.3.1	Estado actual de la tecnología.....	27
3.4.3.2	Requisitos actuales de los enfriadores.....	27
3.4.3.3	Tendencias y aspectos tecnológicos	28

3.4.3.4	Conclusión del análisis de tipos de Chillers	28
3.4.4	Descripción de los requerimientos.....	29
3.4.4.1	Lista de exigencias	29
3.4.5	Concepción de la Solicitud	31
3.4.6	Concepto de solución.....	34
3.4.7	Matriz morfológica.....	34
3.4.8	Evaluación de las propuestas.....	37
3.5	DISEÑO DE SISTEMAS	39
3.5.1	Flujo de secuencias	39
3.6	DESCRIPCIÓN DE VISITA PREVIA	41
3.7	EVALUACIÓN EL FUNCIONAMIENTO DE LA SOPLADORA	42
3.8	MANUAL DE OPERACIÓN BÁSICO DE UNA SOPLADORA	45
3.9	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	54
	CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
4.1	RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	56
4.1.1	Evaluación energética de la torre de enfriamiento.....	56
4.2	PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	72
4.3	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	73
	CONCLUSIONES	75
	RECOMENDACIONES.....	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	78
	ANEXOS.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la extrusión por soplado.....	11
Tabla 2. Evaluación técnica de proveedores	29
Tabla 3. Lista de exigencias.....	30
Tabla 4. Matriz Morfológica.....	35
Tabla 5. Evaluación técnica de las propuestas	37
Tabla 6. Evaluación económica de las propuestas.....	38
Tabla 7. Evaluación de la máquina sopladora.....	43
Tabla 8. Componentes del sistema neumático.....	44
Tabla 9. Componentes del sistema eléctrico	50
Tabla 10. Lista de instrumentos de medición.....	55
Tabla 11. Valores de coeficiente de convección	56
Tabla 12. Evaluación Energética de la torre de enfriamiento.....	61
Tabla 13. Resultados de la evaluación energética de la torre de enfriamiento	61
Tabla 14. Eficiencias para compresores de refrigeración.....	62
Tabla 15. Tabla de valores de propiedades termodinámicas del ciclo obtenidas en EES68	
Tabla 16. Evaluación Energética del Chiller.	70
Tabla 17. Resultados de la evaluación energética del Chiller.....	72
Tabla 18. Comparación de resultados.	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.	Proceso de Moldeo por Soplado – Extrusión	11
Ilustración 2.	Productos obtenidos por el proceso extrusión soplado	12
Ilustración 3.	Proceso de Moldeo por Soplado – Inyección	13
Ilustración 4.	Productos obtenidos por el proceso inyección soplado	13
Ilustración 5.	Productos multicapa obtenidos por el proceso Coextrusión-Soplado	14
Ilustración 6.	Materiales más usados	14
Ilustración 7.	Identificación de tipos de plástico.....	15
Ilustración 8.	Estructura química del PET	16
Ilustración 9.	Formación de la botella PET	16
Ilustración 10.	Partes y Funcionamiento del Sistema Chiller	18
Ilustración 11.	Partes de un Chiller	20
Ilustración 12.	Chiller tipo Scroll enfriado por aire	21
Ilustración 13.	Chillers tipo Scroll enfriados por agua.....	21
Ilustración 14.	Chillers tipo Tornillo enfriados por agua	22
Ilustración 15.	Chillers tipo Centrifugo enfriados por agua	22
Ilustración 16.	Chillers tipo Centrifugo enfriados por agua	23
Ilustración 17.	Caja negra (Black-box)	32
Ilustración 18.	Estructura de funciones-Caja Gris	34
Ilustración 19.	Selección de sistema	38
Ilustración 20.	Flujo de secuencias	40
Ilustración 21.	Vista de torre de enfriamiento artesanal.....	41
Ilustración 22.	Máquina sopladora	42
Ilustración 23.	Sistema Neumático de la Máquina Sopladora	44
Ilustración 24.	Sistema de alimentación de preformas	46
Ilustración 25.	Sistema de alimentación de preformas	46
Ilustración 26.	Foto del sistema de soplado de botellas	47
Ilustración 27.	Sistema de soplado de botellas	47
Ilustración 28.	Sistema de salida de botellas	48
Ilustración 29.	Sistema de salida de botellas	48
Ilustración 30.	Sistema eléctrico FLUIDSIM	49
Ilustración 31.	Sistema eléctrico sopladora	49
Ilustración 32.	Esquema de funcionamiento de torre de enfriamiento de sopladora.....	51

Ilustración 33.	Toma de temperaturas en diferentes puntos de la torre de enfriamiento.	51
Ilustración 34.	Medida de caudal en la caída de agua en torre de enfriamiento	52
Ilustración 35.	Vista del Chiller de 3 TR	53
Ilustración 36.	Esquema de Chiller Industrial	53
Ilustración 37.	Vista interna del Chiller de 3 TR.	54
Ilustración 38.	Medida de temperatura con Fluke 561 en torre de enfriamiento	58
Ilustración 39.	EES Versión (10.640D 1992-2019) Versión demostrativa.....	58
Ilustración 40.	Ventana de ecuaciones software EES	59
Ilustración 41.	Ventana de ecuaciones formateadas software EES	59
Ilustración 42.	Ventana de soluciones software EES	60
Ilustración 43.	Diagrama de Molliere para la obtención del punto 2s con eficiencia isoentrópica	64
Ilustración 44.	Tanque de agua- refrigerante con entrada de agua y enfriamiento en funcionamiento	65
Ilustración 45.	Ventana de ecuaciones software EES, cálculo del Chiller- parte 1	65
Ilustración 46.	Ventana de ecuaciones software EES, cálculo del Chiller- parte 2	66
Ilustración 47.	Diagrama de Molliere con el ciclo de 6 puntos efectuado en EES	66
Ilustración 48.	Ventana de ecuaciones formateadas software EES, cálculo del Chiller – parte 1	67
Ilustración 49.	Ventana de ecuaciones formateadas software EES, cálculo del Chiller – parte 2	67
Ilustración 50.	Ventana de ecuaciones formateadas software EES, cálculo del Chiller – parte 3	68
Ilustración 51.	Diagrama de Molliere con zoom, obtenido en EES para un ciclo de 6 puntos de refrigeración	69
Ilustración 52.	Ventana de soluciones software EES, cálculo de Chiller	69
Ilustración 53.	Gráfico de barras de la comparación de resultados.	73

RESUMEN

El presente trabajo de investigación lleva como título: “Instalación y evaluación energética de un chiller para el enfriamiento de una máquina sopladora automática de botellas PET”

El propósito de esta investigación, es determinar el tipo de chiller adecuado para el enfriamiento de una máquina sopladora automática de botellas PET, pero en general puede ser aplicado para la selección de otros componentes de la máquina sopladora debido a que el proceso de selección, se basa en estándares internacionales. El tipo de investigación es cuantitativo, y el método para desarrollar la investigación es deductivo directo porque parte de la premisa de la hipótesis, el cual es la implementación de un chiller industrial y que debe influir en el enfriamiento de la máquina sopladora, se podrá contrastar dichos resultados después de la evaluación energética y rendimiento de la máquina sopladora, esto después de una serie de pasos ordenados.

Resultados: una vez realizado el levantamiento de datos, se comprobó que la torre de enfriamiento tiene menos capacidad de enfriamiento (kW) que la de un Chiller, aproximadamente el Chiller tiene el doble de capacidad de enfriamiento (200%), pero el consumo de energía eléctrica (amperios) del Chiller es 4 veces más que la de la torre de enfriamiento (400%), eso es debido a que la torre solo tiene una bomba de agua tratada, mientras el Chiller tiene una bomba y un compresor hermético. Se verificó la evaluación técnico económica para la mejora de la producción y se verificó visual y presencialmente el aumento de producción de 1500 BPH a 3500 BPH.

Conclusión: se seleccionó adecuadamente un Chiller de agua industrial usando una metodología para la selección de un Chiller industrial de 3 TR (10.5 kW) según norma VDI 2221 y se validó la compra efectuada, para su correcta selección, se tomó datos de campo y se realizó una evaluación energética, para no subdimensionar el Chiller industrial y aumentar la producción.

Palabras clave: Chiller, productividad, sopladora de PET, torre de enfriamiento, evaluación energética

ABSTRACT

The present research work is entitled: "Installation and energy evaluation of a chiller for cooling an automatic PET bottle blowing machine"

The purpose of this research is to determine the type of chiller suitable for cooling an automatic blow-molding machine. PET bottles, but in general, it can be applied for the selection of other components of the blowing machine because the selection process is based on international standards. The type of research is quantitative, and the method to develop the research is direct deductive because from the premise of our hypothesis which is the implementation of an industrial chiller and which should influence the cooling of the blowing machine, these results can be contrasted After the energy and performance evaluation of the blowing machine, this after a series of ordered steps.

Results: Once the data survey was carried out, it was found that the cooling tower has less cooling capacity (kW) than that of a Chiller, approximately the Chiller has twice the cooling capacity (200%), but the consumption of electrical energy (amps) of the Chiller is 4 times more than that of the cooling tower (400%), this is because the tower only has a treated water pump, while the Chiller has a hermetic pump and compressor. The technical-economic evaluation for the improvement of production was verified and the increase in production from 1500 BPH to 3500 BPH was verified visually and in person.

Conclusion: an industrial water chiller was properly selected using a methodology for the selection of a 3 TR (10.5 kW) industrial chiller according to the VDI 2221 standard and the purchase made was validated, for its correct selection, field data was taken and carried out an energy evaluation, in order not to underrate the industrial chiller and increase production.

Keywords: Chiller, productivity, PET blower, cooling tower, energy evaluation.

INTRODUCCIÓN

Para mejorar la productividad de una empresa hay que actualizar equipos y maquinaria constantemente, la productividad desempeña un papel importante a la hora de proyectar las ventas, en la empresa ENVASADORA MAJES E.I.R.L ubicada en la región Arequipa, tiene como rubro principal la venta de jugos y bebidas, tuvo un repunte en sus ventas, necesitando máquinas de mayor dimensión y capacidad para producir botellas PET (Tereftalato de Polietileno), por ese motivo se realizó la compra de una máquina automatizada de fabricación china de marca ECENG modelo Q6000 de segundo uso, con una capacidad de 5500-6000 BTH (botellas por hora) con capacidad hasta 2000 ml, el porqué de la adquisición de una máquina de segundo uso es debido a su alto costo.

Para poder cumplir una meta de producción utilizando equipos de diferente capacidad solo por ahorrar costos fijos, aumenta la merma, tiempos muertos de mantenimiento y paradas imprevistas; un correcto asesoramiento puede mejorar las expectativas de producción, viéndose reflejado en la parte económica de la empresa.

Se describe el problema existente en la capacidad de producción de la máquina ECENG Q6000 y se plantea aplicar una metodología aplicativa para poder instalar un Chiller capaz de aumentar la producción y llegar a su capacidad total. También es importante mencionar que el chiller a adquirir, debe ser del mercado nacional, porque la importación de un chiller supone más gasto y demora.

Se desarrolló un procedimiento para elegir el Chiller utilizando la norma VDI 2221, luego se realizó la compra de un Chiller de 3TR de segundo uso; se instaló y se evaluó energéticamente para poder compararlo con la torre de enfriamiento y entender cuanto de calor disipado (kW) en el proceso se necesita para sostener una capacidad al 100% de la sopladora; también se realizaron medidas de campo y levantamiento de información, para que el área de mantenimiento y producción entiendan el funcionamiento de la máquina como el sistema neumático y de control eléctrico, se generó una serie de documentos técnicos útiles para la

empresa y se demostró nuevamente la simbiosis existente entre la parte académica (Universidad Continental) y la empresa regional (Envasadora Majes).

Es por ello en la elaboración de la presente tesis, se desarrolló una metodología para una selección de un equipo de enfriamiento para una máquina sopladora china marca ECENG modelo Q6000 que la empresa compró de segundo uso, para su instalación y evaluación energética y así poder reemplazar una torre de enfriamiento instalada anteriormente que generaba una baja capacidad de producción de botellas PET.

En la presente investigación se puede resumir los capítulos contenidos de la siguiente manera: en el capítulo I se describe el problema existente en la capacidad de producción de la ECENG Q6000 y se plantea aplicar una metodología para seleccionar un equipo capaz de aumentar la producción y llegar a la capacidad total de la maquinaria. En el capítulo II se levanta el estado del arte, con un marco teórico para la comprensión del proceso. En el capítulo III se desarrolla la metodología para la selección del equipo enfriador. En el capítulo IV se expone los resultados y la metodología aplicada para la evaluación energética de los equipos de enfriamiento, se realiza la prueba de la hipótesis inicial y resultados finales. Al final del documento se presentan las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I:

PLANEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Planteamiento del Problema

La Envasadora Majes E.I.R.L ubicada en el Jirón, Trujillo 105, Cerro Colorado en la ciudad de Arequipa-Perú, es una empresa agroindustrial dedicada a la producción y comercialización de bebidas a base de productos naturales y gasificadas en la región sur del Perú. La variedad y calidad de los productos que fabrica, ha logrado consolidar a la empresa como una de las más importantes de la región. La Envasadora Majes se encuentra constantemente desarrollando productos innovadores, basándose en productos naturales y nutricionales para el público general, cumpliendo las exigencias más altas de calidad, por esa razón actualmente cuenta con una variedad de productos elaborados.

La empresa en mención cuenta con una línea de producción el cual es expuesta en los planos detallados en los anexos 3, 4 y 5; dentro de toda la línea se encuentra la máquina de soplado para su producción de botellas PET (tereftalato de polietileno) de diversos gramajes (pesos) y su posterior envasado. Para lograr este objetivo se compró una máquina sopladora de segundo uso, marca ECENG modelo Q6000. Para usar esta máquina sopladora se utiliza horno de calentamiento, para elevar la temperatura de las preformas (botellas PET, en estado embrionario) y llevarlas a su estado plástico.

Para una producción de 3000 botellas por hora, se necesita enfriar el finish (rosca de preforma PET) de la máquina sopladora y el molde de soplado; para lo cual se utiliza un sistema de bombeo de agua a temperatura ambiente.

Pero dicho sistema actualmente, solo está en capacidad de producir 2000 botellas por hora, debido al calentamiento de agua de enfriamiento. Una de las causas de esta

baja producción es la torre de enfriamiento utilizada, el cual es de fabricación artesanal y no cumple con el estándar de producción.

La empresa en su política de expandir la marca, propone aumentar la producción a 3500 botellas por hora, por lo que el enfriamiento de botellas debe ser mejorado sin afectar en la fabricación de botellas.

Para poder instalar un Chiller adecuado y no sobredimensionar o sub dimensionar el sistema, se tiene que sustentar técnica y térmicamente su selección; la sopladora Q6000 no cuenta con un manual técnico de operación, motivo por el cual se tiene que empezar desde cero con el cálculo de sistema de enfriamiento y posterior selección, haciendo un análisis inicial, seleccionar el Chiller adecuado, instalarlo, ponerlo a prueba y medir las condiciones de performance en operación, entender el funcionamiento del sistema de enfriamiento de la sopladora Q6000 y generar un plan de mantenimiento para garantizar su tiempo de vida útil mejorando la productividad de botellas PET para la empresa.

1.1.2 Formulación del problema

Problema general

¿Qué efecto tendrá en el enfriamiento de la máquina sopladora automática de botellas PET, la implementación de un chiller industrial?

Problemas específicos

- ¿El método inicial del dimensionamiento del chiller, permitirá seleccionar un chiller para la máquina sopladora automática de botellas PET?
- ¿La instalación del chiller, mejorará el enfriamiento de la máquina sopladora automática de botellas PET?
- ¿La evaluación energética del chiller industrial, permitirá medir la performance de operación del sistema de enfriamiento de la máquina sopladora automática de botellas PET?
- ¿Qué pasos y requisitos se deben respetar para la instalación del Chiller industrial?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Principal

Implementar un chiller industrial, para enfriar adecuadamente la máquina sopladora automática de botellas PET.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar adecuadamente un Chiller industrial, para la máquina sopladora automática de botellas PET.
- Instalar el chiller industrial, para el enfriamiento de la máquina sopladora automática de botellas PET.
- Evaluar la eficiencia energética del chiller industrial instalado en la máquina sopladora automática de botellas PET.
- Analizar el comportamiento del sistema y validar su funcionamiento térmico, para el aumento de producción de botellas PET de la empresa ENVASADORA MAJES E.I.R.L

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Justificación técnica

Desde el punto de vista técnico, la instalación del chiller adecuado mejorará el funcionamiento en forma eficiente de la máquina sopladora de botellas PET, esta acción permitirá el uso de: maquinaria automatizada con configuración de PLC, sensores, contadores de producción; y que esta mejore la efectividad de la línea de producción de botellas PET. El presente trabajo de investigación busca generar un aumento de producción, ya que esta aumentará de las 1500 BTH a 3500 BTH, lo que permitirá el abastecimiento necesario para las empresas terceras.

Otro de los puntos importantes es resaltar que se instalara un chiller de segundo uso, debido a que la máquina sopladora ECENG Q6000, también es de segundo uso. Ahora el chiller que venía inicialmente con la máquina sopladora se malogró, por lo que se optó por una torre de enfriamiento de fabricación artesanal, pero como se mencionó en el planteamiento del problema, esta torre de enfriamiento, no ayuda en la cantidad de fabricación de botellas deseadas, por lo que, se está buscando un chiller adecuado en el mercado nacional y que cumpla los requisitos buscados.

1.3.2 Justificación económica

Lo que busca el trabajo de investigación, es la reducción de costos al implementar una máquina que ayudará a evitar las fallas de sobrecalentamiento de la sopladora, adquirir una máquina de segundo uso (anexo 15) y repotenciarla es un reto tecnológico además de una reducción de costos; se busca aumentar su producción en un 80% ya que los análisis del sistema de enfriamiento se realizarán con los conocimientos adquiridos en transferencia de calor y termodinámica. Será determinante para la correcta

selección del Chiller, junto con el levantamiento de documentos técnicos, que se podrá mejorar el plan de mantenimiento que utiliza la empresa y poder obtener un plan de mantenimiento preventivo, mejorando la productividad, gastos de mantenimiento y operación de la máquina sopladora.

1.3.3 Justificación Social

Mejorar el sistema de frío, impacta en la generación de menos merma de preformas, porque aumenta la calidad de formación de la botella soplada, y por ende eso hace que se genere menos merma general y menos contaminación ambiental.

Ahora con la generación de merma y botellas sopladas que no pasan el control de calidad (la merma debe ser menor que el 1%), se proyecta donar parte de ella para proyectos sociales (generación de ladrillos ecológicos o casas para guardería de perros de la calle).

Entonces se puede afirmar que cualitativamente el aumento de producción de botellas PET, gracias a la implementación del chiller adecuado, mejorará la calidad del producto final, disminuyendo la merma. De tal manera que el público se vea satisfecho con el producto que se le entrega.

1.4 HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

1.4.1 Hipótesis General

La implementación de un chiller industrial, tiene efecto en el enfriamiento de la máquina sopladora automática de botellas PET.

1.4.2 Hipótesis Específica

- La selección de un chiller, influye en el sistema de enfriamiento de la máquina sopladora automática de botellas PET.
- La instalación de un chiller, influye en el sistema de enfriamiento de la máquina sopladora automática de botellas PET.
- La evaluación energética del chiller, permitirá medir la performance del sistema de enfriamiento de la máquina sopladora de botellas PET.
- Los pasos y requisitos para la instalación del Chiller, influirá en el correcto funcionamiento de la máquina sopladora de botellas PET.

1.4.3 Variable Dependiente

- Enfriamiento de la máquina sopladora automática de botellas PET
- Evaluación energética del chiller instalado.

1.4.4 Variable Independiente

Instalación de un chiller.

1.4.5 Operacionalización de las variables

Variables	Tipo de Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Instalación de un chiller.	Independiente	El chiller es un refrigerador de líquido, que como en un sistema de expansión directa, calienta o enfría mediante el intercambio térmico. Las sopladoras son las máquinas utilizadas en la industria para el soplado de plásticos. En general las sopladoras consisten en una boca de soplado, molde con venas de calentamiento y una cuchilla	Selección del chiller mediante la norma VDI 2221	Matriz morfológica de evaluación técnica de chillers	Registro de datos de la matriz morfológica en tablas estadísticas
Enfriamiento de la máquina sopladora automática de botellas PET.	Dependiente	La evaluación energética del chiller consiste en evaluar la eficiencia energética entregada, evaluar si es chiller tiene paradas de procesos y averías.	Producción de botellas PET de la máquina sopladora.	Aumento de la producción de botellas PET	Registro de datos en tablas estadísticas
Evaluación energética del chiller instalado.			Voltaje en la máquina sopladora.	Variación de voltajes en la máquina sopladora.	
			Temperatura en la máquina sopladora.	Variación de temperatura en la máquina sopladora.	cálculo energético efectuados en el software EES
			Consumo de energía eléctrica en la máquina sopladora.	Variación de consumo de energía en la máquina sopladora.	

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1 Antecedentes internacionales

En la tesis de Camey Hernandez (2017), titulada “Diseño de la instalación de un nuevo equipo tipo Chiller para el sistema de distribución de agua de enfriamiento en moldes de soplado e inyección, para la empresa POLINDUSTRIAS S.A.”, la metodología que fue empleada se dividió en cuatro fases donde se trabajó puntos clave para la realización del proyecto, tales como la calificación del diseño, calificación de la instalación, calificación de la operación y la calificación del desempeño del equipo. Enfatiza que la fase del diseño es importante porque determina el tipo de chiller adecuado, bajo estándares adecuados, basados en la transferencia de calor, para ello gestiona el uso de matemática de ingeniería para demostrar el diseño adecuado para el chiller a fabricar, una vez fabricado e instalado el chiller, también valúa la operación y el desempeño del equipo en determinadas situaciones. Con el seguimiento y cumplimiento de las cuatro fases se logró cumplir con el objetivo de diseñar la instalación de un nuevo Chiller para el sistema de enfriamiento.

En julio del 2020, Cachago Lluglluna, realizó el trabajo de investigación que lleva el nombre “Diseño y construcción de un sistema de refrigeración didáctico para enfriamiento de agua (Chiller)”. La metodología empleada para el trabajo de investigación, fue de forma aplicada ya que se busca cumplir con el objetivo principal además del análisis de todas las partes que conforman el circuito de refrigeración como lo son (Compresor, evaporador, válvulas de expansión y sistemas de control); finalmente, para cumplir con el objetivo de diseñar y construir un sistema de refrigeración didáctico para enfriamiento de agua (Chiller) las pruebas realizadas arrojaron que el sistema funciona de manera correcta, ya que las temperaturas alcanzadas y tiempos de

encendido y apagados cumplen con los parámetros de evaporación y condensación deseados entre -10°C y 40°C.

2.1.2 Antecedentes nacionales

En 2018, Mendocilla Durant, realizó el trabajo de investigación tecnológica que lleva por nombre “Mejora del enfriamiento de tubos PVC por agua mediante el cambio de torre por Chiller refrigerante en empresa Tuplast Trujillo para satisfacer la demanda térmica”. La metodología que se utilizó fue de modo aplicativo, ya que se plantea conseguir la solución tecnológica para mejorar la factibilidad de la empresa Tuplast Trujillo, como parte final se logra determinar que el cambio de un Chiller por una torre de enfriamiento logra la rentabilidad esperada, los mantenimientos son menos costosos, los procesos tienen una mayor eficiencia, la parte de automatización genera un trabajo independiente del propio equipo y por último que los operadores obtengan nuevos conocimientos de un equipo automatizado.

Considerando parte de los antecedentes en donde se describe previamente lo que la empresa Envasadora Majes presenta en la actualidad, para el correcto funcionamiento de una máquina sopladora, se necesita generar aire de alta presión. La planta de envasadora majes, trabaja con sistemas neumáticos y algunos eléctricos, pero en principio se basa en lo que conocemos como neumática, que es una rama de la mecánica que trabaja con el reposo y movimiento de gases, que tienen características compresibles; también encierra la tecnología que se utiliza para que el aire comprimido pueda transmitir la energía necesaria para mover actuadores o mecanismos que solucionen problemas en la industria y mejoren procesos.

El aire es un fluido gaseoso y, por lo tanto, al aplicarle una fuerza se comprime, mantiene esta compresión y devuelve la energía acumulada cuando se le permite expandirse, según dicta la ley de los gases ideales (Festo, s.f.), las máquinas que hacen consumo de este recurso de la mecánica son todos los pistones que generan movimientos ya sean axiales o transversales, además de esto el principal consumo del aire en alta presión es la sopladora, para abastecerla se necesita una presión de 28 bares los cuales se emplean para darle forma a la botella y así obtener esos envases.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Moldeo por Soplado

El moldeo por soplado, es un proceso en el que se utiliza la presión del aire para expandir el plástico en la cavidad de un molde. Este proceso se utiliza en la fabricación de piezas plásticas huecas con paredes delgadas y de una sola pieza, tales como botellas y recipientes.

El proceso se lleva a cabo en dos pasos: primero, se fabrica un tubo a partir de plástico fundido, denominado preforma, y segundo, se inyecta aire a presión en el tubo para conseguir la forma deseada.

2.2.2 Descripción del Proceso de Soplado

El proceso de estirado - soplado se utiliza en la producción de envases de diferentes polímeros; en este caso el PET (Tereftalato de Polietileno); para orientar a las moléculas en forma biaxial. Este ordenamiento permite mejorar propiedades físicas como de barrera para los gases, transparencia y claridad con la finalidad de cumplir las exigencias de una botella empleada en productos líquidos alimenticios y bebidas carbonatadas.

Para esto, las preformas son calentadas aproximadamente 100°C, temperatura a la cual el PET es gomoso, elástico, fácilmente deformable y en un tiempo determinado crece la altura y diámetro a través del estirado - soplado adoptando la forma del molde establecido.

2.2.3 Formas de Moldeo por Soplado

2.2.3.1 Extrusión del soplado

Es el tipo más sencillo de moldeo, es el que se aplica en un tubo caliente de material plástico fundido, a esto se le conoce como (párison), se deja aterrizar desde una extrusora y capturado en un molde enfriado por agua. Una vez que los moldes están cerrados, se inyecta aire a través de la parte superior o del cuello del elemento a ser moldeado; como si se estuviera inflando un globo. Cuando el material plástico caliente se sopla y entra en contacto con las paredes del molde el material se enfría y logra que la pieza mantenga una forma rígida. (Todo en Polímeros, 2017)

Tabla 1.

Ventajas y desventajas de la extrusión por soplado

Extrusión de soplado	
Ventajas	Desventajas
Incluye una alta tasa de producción	Alta tasa de desperdicio
Tiene bajo costo de herramientas	Control limitado sobre el espesor de la pared
Hay variedad de fabricantes de estas máquinas	Dificultad de recortar el exceso de plástico.

Nota: la Extrusión por soplado se utiliza también para el proceso de plásticos distintos, estos pueden ser HDPE, PVC, PC, PP, y PET. (Todo en polímeros, 2017)

La extrusión por soplado puede ser monocapa o multicapa, así como la coextrusión. En la extrusión se utiliza diferentes extrusores, estos llegan a un mismo dado formando una estructura que contiene capas diferentes. En la siguiente imagen se observará la explicación del proceso del moldeado por soplado-extrusión que contiene los tres procesos de la extrusión del (párison) y tres procesos del soplado del (párison).

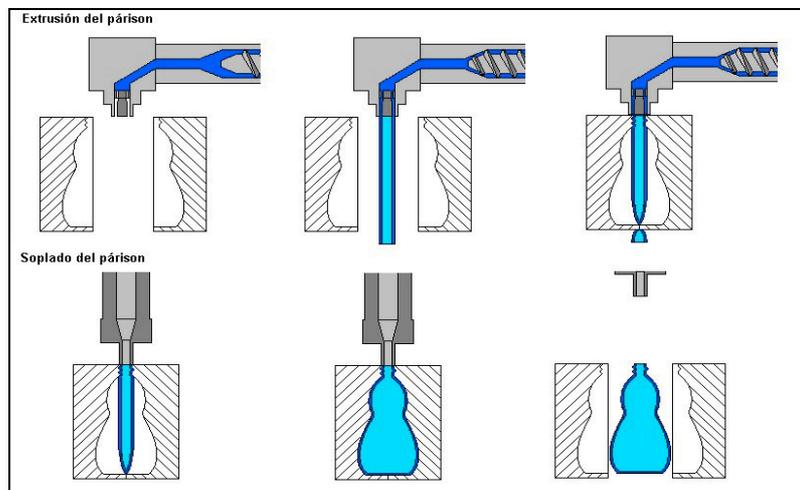


Ilustración 1. Proceso de Moldeo por Soplado – Extrusión

Fuente: Tomada de (Rico & Gomis, 2012)

Nota. En el proceso de extrusión el Párison es insertado en la parte superior y sellado en la parte inferior alrededor de un pin de soplado metálico mientras las dos mitades del molde cierran, el tubo es inflado hacia los alrededores del molde tomando la forma el vacío del molde por último este se abre para expulsar la parte sólida. Tomada de (Rico & Gomis, 2012).



Ilustración 2. Productos obtenidos por el proceso extrusión soplado

Fuente: Tomado de: DICTER S.A. © - desarrollado por TKIPO, 2017

2.2.3.2 Inyección del soplado

Es generalmente apto para envases pequeños y no admite piezas con mango. Generalmente es usado para contenedores con rangos de tolerancia cortos para cuellos con rosca, aberturas de boca ancha; y formas muy estiladas. Los contenedores soplados por lo usual tienen un peso programado que no se puede cambiar fácilmente. Generalmente los enseres del recipiente moldeado se distribuyen uniformemente y por lo usual no es requerido ningún recorte o fresado. (Polímeros, 2017).

En el proceso el polímero es moldeado por inyección sobre un corazón o núcleo, usualmente en forma de pin formando la preforma, seguidamente este corazón en pin se rota a la estación de soplado para ser inflado y enfriado. Este es el menos usado de los tres procesos de moldeo por soplado, y se suele usar para realizar pequeñas botellas médicas o botellas individuales. El proceso se divide en tres pasos: inyección, soplado y expulsión. (Todo en Polímeros, 2017).

El dispositivo de moldeo soplado, se conforma de una unidad de inyección para fundir el polímero. El polímero fundido se alimenta a un múltiple de colada caliente en donde se inyecta por medio de boquillas a un molde a alta temperatura. Dentro de las cavidades del molde se forma la preforma alrededor de un corazón por lo general en forma de pin. (Todo en Polímeros, 2017).

La preforma está compuesta de un cuello de botella, formado y enlazado a un tubo grueso de polímero que formará el cuerpo comparable en apariencia a un tubo de ensayo con un cuello roscado. El molde de la preforma da apertura y la barra central gira y esta se sujeta en el molde de soplado hueco y refrigerado. La punta de la barra se abre

dando paso al aire comprimido en la preforma, seguidamente este se infla a la forma del artículo final. Luego de una etapa de enfriamiento el molde de soplado se abre y la barra gira a la posición de expulsión. El producto final es expulsado. Los moldes de moldeo y de soplado pueden tener varias aberturas, por lo general de tres a dieciséis, dependiendo del tamaño del producto y la producción requerida. Existen tres tipos de conjuntos de barras que dan paso a la inyección, soplado y expulsión. (Todo en Polímeros, 2017).

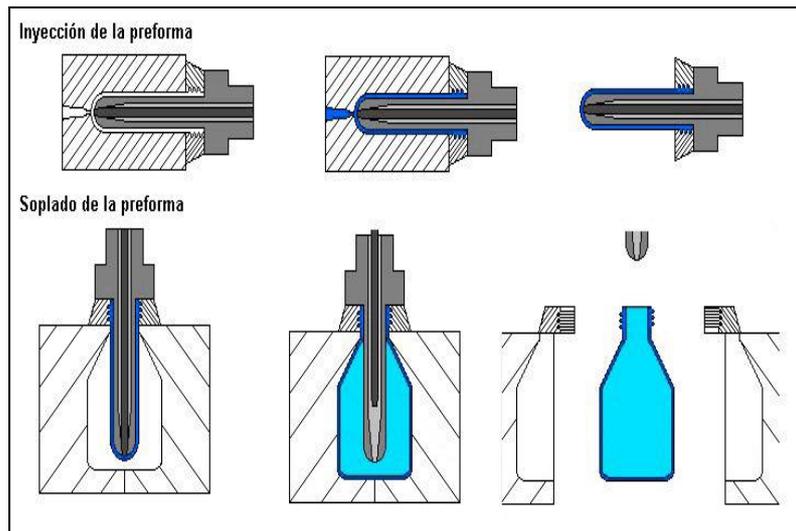


Ilustración 3. Proceso de Moldeo por Soplado – Inyección

Fuente: Tomada de (Rico & Gomis, 2012)

Nota: esta figura muestra la forma como se realiza un proceso de inyección de aire para formar un envase utilizando una preforma, donde la combinación de estirado e inyección de aire comprimido, hace que la preforma calentada previamente, tome la forma interna del molde que va forma al envase, para después abrirse y tener una pieza solida lista para ser usada. Tomada de (Rico & Gomis, 2012).



Ilustración 4. Productos obtenidos por el proceso inyección soplado

Fuente: Tomada de (Izaro Manufacturing Tecnologic, 2012)

2.2.3.3 Coextrusión-Soplado.

Es adecuado para una producción de piezas multicapa. La coextrusión por soplado es un proceso de dos partes similar al moldeo por Inyección-Soplado, el cual da inicio con la inyección de una preforma. La preforma es calentado con calentadores infrarrojos y se inyecta aire a alta presión mientras que la preforma es estirado usando una varilla. La preforma se expande tomando la forma de la pieza requerida. (Gestión de compras, 2020)



Ilustración 5. Productos multicapa obtenidos por el proceso Coextrusión-Soplado
Fuente: Tomada de (Sánchez, 2015)

2.2.4 Materiales y Productos

Los materiales son elegidos por sus propiedades físicas, su costo y depende del ambiente en el que vayan a ser usados. Los más utilizados son los siguientes:

01	PET	Polietileno tereftalato.	
02	LDPE, LLDPE	Polietileno de baja densidad.	
03	HDPE	Polietileno de alta densidad.	
04	PP	Polipropileno.	
05	PVC	Policloruro de vinilo.	

Ilustración 6. Materiales más usados
Fuente: Elaboración propia

Los productos que son fabricados por moldeo por soplado son mayormente utilizados en varios campos de la industria y en la vida cotidiana, así como automoción, productos de consumo, sector electrónico, tanques de fuel, mobiliario, sanidad, seguridad, embalaje, juguetes.

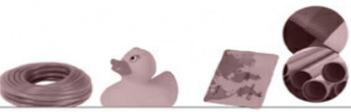
	● Son fácilmente reciclables	● Es posible reciclarlos	● Son difícilmente reciclables
NO VALE PARA NUEVOS ENVASES DE COMIDA.	 PET O PETE Tereftalato de Polietileno		FORMARÁ PARTE DE NUEVAS BOTELLAS MEZCLADO CON AL MENOS 50% DE PLÁSTICO NO RECICLADO <ul style="list-style-type: none"> ● Botellas de agua ● Tejidos
	 HDPE o PEAD Polietileno de alta densidad		<ul style="list-style-type: none"> ● Botellas de detergente ● Garrafas de aceite ● Botellas de leche
	 V o PVC Vinílicos o Cloruro de Polivinilo		<ul style="list-style-type: none"> ● Mangueras ● Juguetes infantiles ● Pieles sintéticas ● Tarjetas de crédito ● Tuberías ● Interior automóviles
	 LDPE Polietileno de baja densidad		<ul style="list-style-type: none"> ● Bolsas ● Guantes supermercado ● Film de cocina ● Plástico de burbujas
	 PP Polipropileno		<ul style="list-style-type: none"> ● Pajitas de refresco ● Tapones de botellas ● Envases de yogures o mantequilla
	 PS Poliestireno		<ul style="list-style-type: none"> ● Cajas de CD ● Envases de corcho blanco
	 Otros Resto de resinas de plásticos o mezclas		<ul style="list-style-type: none"> ● Fibras de nylon ● Biberones ● CDs ● Envases médicos ● Piezas de coche

Ilustración 7. Identificación de tipos de plástico
Nota: Tomada de (Pedro, 2019)

2.2.5 ¿Qué es el PET?

El PET significa Tereftalato de polietileno, polietileno tereftalato o polietilentereftalato, este un tipo de plástico que se usa en el sector de la alimentación. Los envases PET están generalmente asociados a los envases para bebidas ya sea PET amorfo o PET cristalino, habitualmente se usan para bebidas por sus propiedades físicas y por la gran diversidad de productos que se pueden fabricar con este material. (Arapack, 2018).

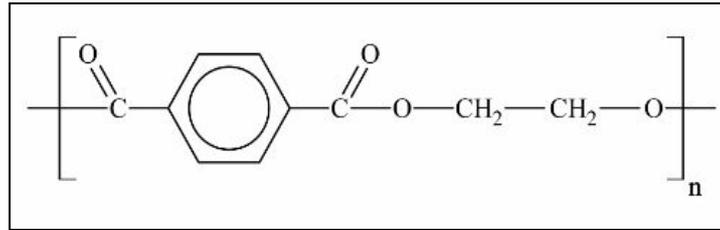


Ilustración 8. Estructura química del PET
Fuente: Obtenida de (Arapack, 2018)

Los recipientes fabricados con PET tienen características y aspectos a tener en cuenta: Es excelente barrera contra los gases CO₂, O₂, la radiación UV y la humedad, también es un material impermeable e inerte al contenido, también tiene alta dureza y rigidez esto lo hace férreo al desgaste obteniendo una alta resistencia química con óptimas propiedades térmicas y es transparente APET (PET amorfo) o cristalino CPET (PET cristalino), admitiendo colorantes en su fabricación (Arapack, 2018).

La parte exterior puede barnizarse, y es estable a la intemperie ante temperaturas que pueden variar entre los -20°C a los +60°C, aunque los envases PET no son biodegradables, pero si es reciclable e idóneo para el uso como envase alimentario en botellas, bandejas (Arapack, 2018).

2.2.6 Una botella de PET se plasma en tres pasos continuados

Las botellas PET son plasmados en tres pasos continuados los cuales son: El estirado, el pre soplado y el soplado, estos son detalladamente explicados en el siguiente esquema:

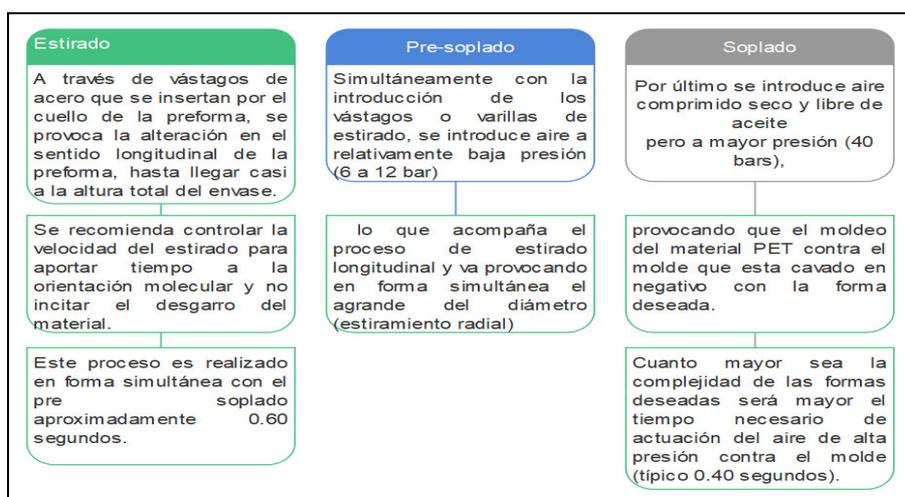


Ilustración 9. Formación de la botella PET
Fuente: Elaboración propia tomada de (Hernández Sánchez, 2012)

2.2.7 Descripción de un Chiller

Un Chiller es una unidad de gran capacidad de enfriamiento aplicada al acondicionamiento de aire o agua a gran escala; mantiene el principio de la refrigeración y funciona en conjunto con otros equipos para hacer circular el medio refrigerante hacia cada ambiente a climatizar. (Revista Cero grados, 2017)

El Chiller por Compresión de Vapor usa una sustancia pura llamada refrigerante, este refrigerante puede ser de diferentes orígenes, naturales como sintéticos; tienen la finalidad de absorber calor a baja temperatura, con la presión más baja del compresor y expulsarla a alta temperatura, aprovechando el cambio de fase con la presión alta del compresor, en el caso de un Chiller de Absorción se reemplaza el compresor por una pequeña bomba y entonces usa el calor para sustentar el ciclo de refrigeración. Los refrigerantes usados en ciclos de absorción son diferentes a los que se usan en un ciclo por compresión de vapor.

Si hablamos de tipo de compresores para sistemas de enfriamiento de agua (Chiller), los compresores pueden ser rotativos, centrífugos, reciprocantes, y Scroll.

Un Chiller es capaz de enfriar el agua, usando la misma operación de refrigeración que los sistemas de refrigeración de aire acondicionado y deshumanizadores, enfría el agua o el fluido que se requiera. Estos sistemas se pueden usar en diferentes tipos de aplicaciones industriales, alimentarias, petroquímicas o de procesos. Cuando la disipación de calor al medio ambiente es muy alta y no alcanza el tiro forzado o inducido del aire, se utilizan las conocidas torres de enfriamiento que utilizan agua por lo general para disipar mayor cantidad de calor en la parte del condensador del sistema.

2.2.8 Partes de un Chiller

Las Partes de un Chiller en conjunto forman el sistema de generación de agua helada. Podemos encontrar componentes dentro de la misma máquina o en puntos externos como en el sistema de distribución del agua.

2.2.8.1 Partes del sistema Chiller y funcionamiento del circuito de refrigeración

El Chiller es una máquina que valiéndose de un sistema de refrigeración, permite el acondicionamiento de agua o una solución especial que se necesita a baja temperatura.

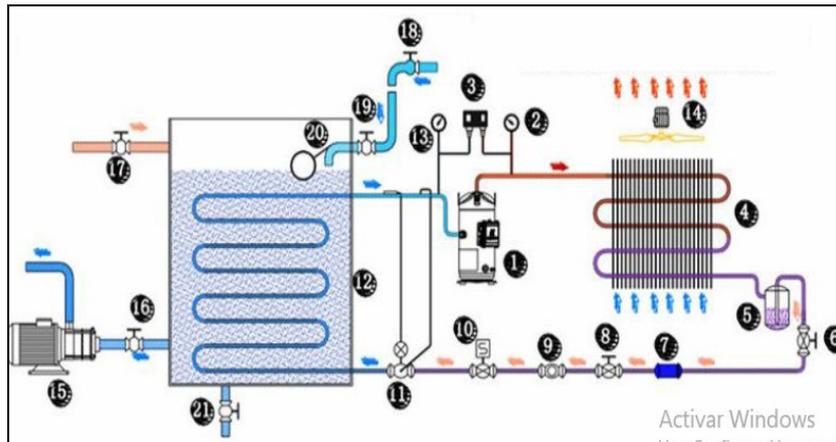


Ilustración 10. Partes y Funcionamiento del Sistema Chiller

Fuente: Elaboración propia tomada de (Confortempresarial, 2019)

Nota: en esta imagen se muestra las partes enumeradas y funcionamiento del sistema chiller donde 1 es el compresor, 2 es el manómetro de presión alta, 3 es el presostato de alta y baja, 4 es el condensador, 5 es el recipiente de líquido, 6 es la Válvula de cierre manual, 7 es el filtro o deshidratador, 8 es la válvula de cierre manual, 9 es el visualizador de líquido, 10 es la válvula solenoide, 11 es la válvula de expansión termostática, 12 es el evaporador, 13 es el Manómetro de Baja, 14 es el ventilador axial, 15 es la Bomba de agua, 16 es la válvula de cierre salida para el agua, 17 es la válvula de cierre entrada para el agua, 18 es la válvula exterior entrada de agua, 19 es la válvula entrada de agua, 20 es el flotador del tanque y 21 es el drenaje del tanque. Obtenida de (Conforempresarial, 2019)

2.2.8.2 Funcionamiento de evaporador del Chiller

El evaporador del Chiller atrae el calor debido a que el refrigerante del circuito de refrigeración tiene menor temperatura que el agua.

El calor al salir del agua llega al refrigerante y la convierte en “Agua helada”, este exceso de energía ahora en el refrigerante hace que pase del estado de Líquido saturado más vapor saturado al estado de Vapor Sobrecalentado.

Este proceso ocurre casi a Temperatura constante más un pequeño aumento (sobrecalentamiento), en cambio, el agua por estar en un solo estado disminuye su temperatura (perdida de calor).

Al Intercambiador del agua (donde se encuentra el agua enfriándose) más el evaporador le llamamos comúnmente Cooler.

2.2.8.3 Funcionamiento de compresor del sistema Chiller

Del evaporador sale el refrigerante sobrecalentado hacia el compresor para incrementar la presión y facilitar la condensación.

La elevación de presión ocurre en la mayoría de compresores por reducción de volumen (compresores de desplazamiento positivo), aunque en grandes equipos puede originarse por aceleración del fluido y posterior transformación de energía dinámica en estática (compresor centrífugo).

2.2.8.4 Funcionamiento del condensador del sistema Chiller

La idea de llevar el refrigerante al condensador, es aprovechar la alta presión ganada en el compresor, para fácilmente retornarlo al estado líquido (condensación). Para lograr su función el condensador debe facilitar el enfriamiento eficaz de la sustancia refrigerante con el ambiente.

2.2.8.5 Función de dispositivo de expansión en sistema Chiller

A la salida del condensador el refrigerante vuelve a ser líquido, pero a alta presión, por ello debe pasar por la válvula de expansión para volver a tener presión y temperatura baja, y así se repite el ciclo. La expansión ocurre por estrangulamiento y por control de masa refrigerante en el evaporador.

2.2.8.6 Partes fundamentales del sistema de refrigeración

- Compresor. Suministra la energía del sistema.
- Válvula de expansión. El refrigerante líquido entra en el dispositivo de expansión donde reduce su presión, al reducirse esta se reduce bruscamente su temperatura.
- Condensador. Es un intercambiador de calor en el que se disipa el calor absorbido en el evaporador.
- Evaporador. El refrigerante a baja temperatura y presión pasa por el evaporador, que al igual que el condensador absorbe e intercambia el calor.
- Accesorios de control para mejorar su rendimiento y prevenir fallas.

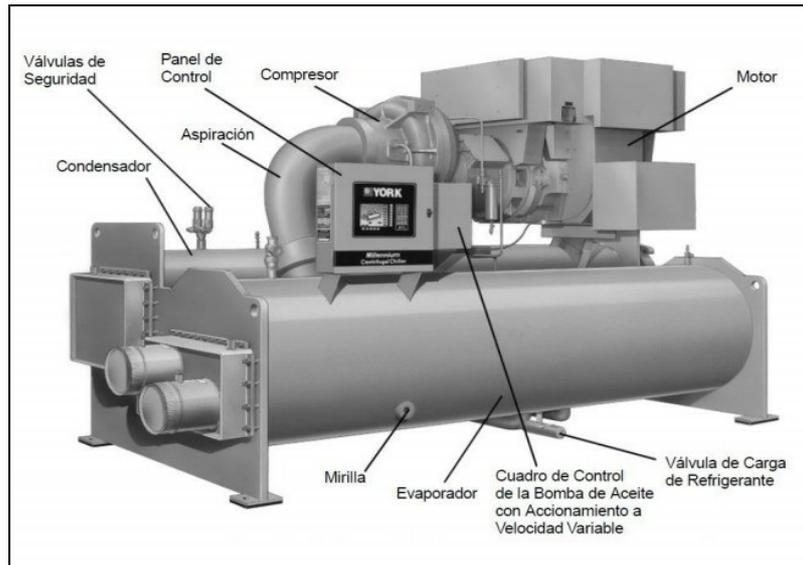


Ilustración 11. Partes de un Chiller
Fuente: Obtenida de (Conforempresarial, 2019)

2.2.9 Tipos de Chiller

Actualmente existen 7 sistemas de refrigeración, dentro de ellos se encuentran los siguientes Chillers que serán explicados detalladamente:

- **Chillers tipo compresor herméticos enfriados por aire**

Tienen baja capacidad 2 -10 TR, operan con refrigerantes HCFC-22, HFC 407C y HFC 410^a, utilizando compresores herméticos como los de aplicación doméstica y comercial; debido a la factibilidad de mezclar refrigerante con aceite en el compresor, tienen alta eficiencia, ruido intermedio, estos equipos pueden ser controlados directamente o utilizando microcontroladores o PLC, son de fácil adaptación y mantenimiento.

- **Chillers tipo Scroll enfriados por aire**

Tiene un rango de capacidad de 10 a 150 tr, este opera con HCFC-22, HFC 407C y HFC 410a utilizando compresores tipo Scroll que proveen una alta eficiencia, bajo ruido, tolerancia al líquido insuperable, así como gran confiabilidad.

Estos equipos enfriadores, son controlados también por el Centro de Control Millennium amigable para el usuario con opción a Hydro kit que incluye bomba de agua (1 o 2) y tanque de expansión contenidos dentro de la unidad.



Ilustración 12. Chiller tipo Scroll enfriado por aire
Fuente: Obtenido de (Ecogreen, 2020)

- **Chillers tipo Scroll enfriados por agua**

Son de alta eficiencia, bajo costo de operación e instalación, proporcionan un bajo nivel de ruido y una excelente comunicación a través de su control microprocesador con display de 40 caracteres disponible en 5 idiomas para una fácil operación y mantenimiento, son ideales para múltiples aplicaciones ya que están diseñados para operar en un amplio rango de condiciones.



Ilustración 13. Chillers tipo Scroll enfriados por agua
Fuente: (Ecogreen, 2020)

- **Chillers tipo Tornillo enfriados por agua**

Proporcionan los niveles de sonido más bajos del mercado que se conocen para los Chillers de tornillo. Tienen niveles de sonido de solo 79 DBA si ningún accesorio y de 68 DBA con las cubiertas para sonido, utilizan el refrigerante HFC-134a que tiene un

potencial de agotamiento de la capa de ozono igual a cero y su diseño permite una sustentabilidad a largo plazo con la mínima pérdida de refrigerante.



Ilustración 14. Chillers tipo Tornillo enfriados por agua
Fuente: (Ecogreen, 2020)

- **Chillers tipo Centrífugo enfriados por agua**

Operan con una máxima eficiencia tanto para la carga plena como para la carga parcial, considerando que el 99% del tiempo los equipos trabajan a cargas parciales optimizando como consecuencia los consumos de energía eléctrica.



Ilustración 15. Chillers tipo Centrífugo enfriados por agua
Fuente: Tomada de (Ecogreen, 2020)

Nota: el Chiller tipo Centrífugo enfriados por agua cuenta con panel de control más avanzado del mercado. Tomada de (Ecogreen, 2020)

- **Chillers tipo Absorción enfriados por el agua**

Emplean agua como refrigerante ecológico y suministran una fuente económica de refrigeración cuando existe la posibilidad de emplear vapor de baja presión o agua caliente. Sus capacidades van de las 100 a las 1400 tr. Se cuenta con un sistema residual de vapor de descarga de agua caliente proveniente de su sistema de refrigeración de motor o proceso Co-generativo.



Ilustración 16. Chillers tipo Centrifugo enfriados por agua
Nota: Tomada de (Ecogreen, 2020)

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1 Sistemas de enfriamiento

Un sistema de enfriamiento, es un proceso de transferencia de calor donde por medio de algún mecanismo vamos a disipar el calor absorbido del proceso al medio ambiente o a otro fluido que puede ser agua de río, de mar, y más comúnmente al aire.

2.3.2 Voltaje

Cuando se unen dos puntos que presentan diferencia de potencial eléctrico con un material conductor, se producirá un flujo de electrones, lo que se conoce como corriente eléctrica, que llevará parte de la carga desde el punto de mayor al de menor potencial.

Dicha diferencia de potencial eléctrico es el voltaje, y dicha corriente cesará en cuanto ambos puntos tengan el mismo potencial, a menos que se mantenga cierta diferencia de potencial mediante un generador o una fuente externa de algún tipo.

De ese modo, cuando se habla del voltaje de un solo punto, se lo refiere en comparación con cualquier otro cuerpo con el que entre en contacto y cuyo potencial se asume igual a cero.

2.3.3 Corriente eléctrica

También se puede definir como un flujo de partículas cargadas, como electrones o iones, que se mueven a través de un conductor eléctrico o un espacio. Al caudal de corriente (cantidad de carga por unidad de tiempo) se le denomina intensidad de corriente eléctrica (representada comúnmente con la letra I). En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en culombios por segundo (C/s), unidad que se denomina amperio (A). Una corriente eléctrica, puesto que se trata de un movimiento de cargas, produce un campo magnético, un fenómeno que puede aprovecharse en el electroimán.

2.3.4 Compresor

Un compresor es una máquina térmica diseñada para aumentar la presión de cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tales como gases y vapores. La compresión se realiza mediante un intercambio de energía entre la máquina y el fluido, en el cual el trabajo realizado por el compresor, es transferido al fluido aumentando su presión y energía cinética impulsándole a fluir.

Al igual que las bombas, los compresores también desplazan fluidos, pero a diferencia de las primeras que son máquinas hidráulicas, estos son máquinas térmicas, ya que utiliza un fluido compresible, sufre un cambio apreciable de densidad y, generalmente, también de temperatura; a diferencia de los ventiladores y los sopladores, los cuales impulsan fluidos, pero no aumentan su presión, densidad o temperatura de manera considerable.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Método

El método a usar es el método deductivo directo, porque de la premisa de la hipótesis el cual es la implementación de un chiller industrial y que debe influir en el enfriamiento de la máquina sopladora, se podrá contrastar dichos resultados después de la evaluación energética y rendimiento de la máquina sopladora, esto después de una serie de pasos ordenados.

- **Método deductivo directo**

El método deductivo directo, es aquel en que el juicio se produce a partir de una única premisa, sin que esta sea contrastada con otras, se utilizará este método porque la propuesta de la instalación y evaluación energética de un Chiller está dada por la evaluación y comparación de los datos obtenidos de la torre de enfriamiento, además de cálculos y antecedentes de la producción de la máquina sopladora nos ayudan a tener claro lo que se requiere para la mejora de su eficiencia.

3.1.2 Tipo de Investigación

El tipo de investigación será: Cuantitativa

Porque la investigación a realizar, nos mostrará un conjunto de resultados numéricos y estadísticos, los cuales nos permitirá contrastar la hipótesis planteada, basándose en resultados numéricos.

3.1.3 Alcance de la Investigación

El alcance de la investigación es de tipo descriptivo-correlacional, porque describiremos las características necesarias del chiller para ser instalado y también veremos cómo afecta la variable de instalación del chiller versus el enfriamiento de la máquina sopladora de botellas; es decir, si se instala un chiller adecuado, el enfriamiento de la máquina sopladora funcionará bastante bien y por ende la producción de esta máquina se incrementará. Eso indica una correlacionalidad entre las variables dependiente e independiente.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para diseñar la investigación contamos con una hipótesis planteada, la cual debe de llegar a reemplazar la torre de enfriamiento de fabricación artesanal por un Chiller industrial, instalarlo, ponerlo a prueba y validar su funcionamiento térmico.

Para tal motivo se utilizará la metodología VDI 2221 de diseño mecánico para analizar la mejor elección de reemplazo a través de una matriz morfológica, con la explicación del proceso utilizando una caja negra y posterior evaluación técnico económica, validando la mejor elección del reemplazo de la torre de enfriamiento, después se realizará las medidas de campo en funcionamiento, utilizando normas de eficiencia energética teóricas, para corroborar su correcto funcionamiento y posterior levantamiento de documentos técnicos útiles para el área de mantenimiento.

3.3 UNIDAD DE ESTUDIO

La presente investigación utiliza como unidad de estudio, un Chiller Industrial que será acoplado al sistema de refrigeración para la máquina sopladora de botellas de la empresa Envasadora Majes. Este chiller industrial será elegido utilizando la metodología VDI 2221, el cual considera la elección del chiller basado en una matriz morfológica y consideraciones técnica económicas. Por lo que en esta investigación no existe población a estudiar.

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

3.4.1 Instrumentos de medición

El instrumento de medición empleado en la investigación, será la ficha de registro de datos, en ella se anotará las medidas de los transductores de campo, tales como las temperaturas de ingreso y salida (°C), temperatura del ambiente (°C), caudal del refrigerante (kg/h), potencia de la bomba (kW), presión de alta y de baja del sistema de

refrigeración evaporativa (kPa), con el conocimiento del refrigerante utilizado, medidas de temperatura del molde y bandeja del horno (°C), junto con la cantidad de preformas transformadas en botellas (BPH) PET (botellas por hora).

3.4.2 Técnicas

Usaremos la técnica de observación de campo no experimental, porque recolectaremos datos de los transductores de campo tales como: las temperaturas de ingreso y salida (°C), temperatura del ambiente (°C), caudal del refrigerante (kg/h), potencia de la bomba (kW), presión de alta y baja del sistema de refrigeración evaporativa (kPa), medidas de temperatura del molde y bandeja del horno (°C), junto con la cantidad de preformas transformadas en botellas (BPH) PET (botellas por hora).

3.4.3 Comprensión de los modelos de Chiller propuestos

3.4.3.1 Estado actual de la tecnología

Tradicionalmente el término Chiller se ha referido a equipos de gran envergadura, extendiéndose hasta enfriadoras pequeñas, que son mayormente utilizadas en aplicaciones residenciales llamadas “Mini Chiller”. Incluyéndose dentro de esta denominación a las versiones Bomba de Calor de este equipo, de tipo reversible que producen agua caliente o agua fría, logrando invertir el sentido de la circulación del refrigerante en su circuito frigorífico.

3.4.3.2 Requisitos actuales de los enfriadores

Hoy en día, las condiciones operativas de las enfriadoras están sujetas a los aspectos ecológicos para que puedan tener el menor coste medioambiental posible. Destacando el ahorro energético, destacando los aspectos relacionados con la eficiencia de los sistemas y el aprovechamiento de las fuentes energéticas renovables y residuales, el concepto de Chiller se extendió desde el clásico “Equipo de Climatización” hacia el de “Máquina Térmica”. Otro aspecto destacado relacionado a cuestiones medioambientales, y contribuyen a la utilización de estos equipos es la reglamentación de uso de refrigerantes siendo la nueva normativa, la clasificación de seguridad del gas refrigerante, función de sus grados de inflamabilidad y de toxicidad. El tipo de contacto que tiene el sistema de climatización con el medio climatizado (directo/indirecto) y el emplazamiento de los componentes del citado sistema que contienen refrigerante, en relación al espacio ocupado. (Herreo, 2019).

3.4.3.3 Tendencias y aspectos tecnológicos

Anteriormente se ha mencionado el protagonismo de la eficiencia energética de los equipos. Una de las desventajas con las que han conestado tradicionalmente los sistemas de climatización hidrónicos, es que su eficiencia bruta “global” se ve afectada por tener que contar con dos fluidos para el intercambio térmico: el gas refrigerante y el agua. El primero se desplaza dentro del circuito frigorífico impulsado por el propio compresor, pero el segundo es el elemento caloportador que distribuye a los elementos terminales, y requiere de bombas de recirculación. (Herreo, 2019).

3.4.3.4 Conclusión del análisis de tipos de Chillers

Para la aplicación es recomendable según los tipos de Chillers, uno de tipo compresor hermético enfriado con aire, por la capacidad baja del rango 2TR-10 TR la factibilidad económica y de mantenimiento. Una de las ventajas de utilizar este tipo de Chiller, son fáciles de encontrar en el mercado, con varias marcas y precios y una disponibilidad de entrega y de stock en diversas empresas nacionales, también en el mantenimiento es más genérico y no precisa de una empresa especializada, la utilización de un refrigerante no tóxico (R22); la desventaja de la utilización del R22, es el precio, debido a que en el mercado nacional, es un refrigerante cuya fabricación e importación desaparecerá con el tiempo, debido a políticas medio ambientales, se deberá cambiar el tipo de refrigerante en unos años, lo que representa una ventaja por su fácil adaptación a otros refrigerantes como el R410A ecológico, el caso del R22 utilizado en un Chiller genera una eficiencia energética mayor que otros refrigerantes alternativos, la capacidad del Chiller debe de estar en un rango de 2TR a 10 TR, capacidades en donde no es necesario modificar el tipo de enfriamiento de la unidad condensadora (aire) por la poca disipación calorífica; además, el lugar donde tiene que adaptarse la maquinaria cuenta con un espacio libre para la recirculación y renovación de aire de enfriamiento. Una de las particularidades del uso de este tipo de Chiller, es que necesitamos de agua tratada (bajo contenido de PPM) y buenas conexiones eléctricas así como de puesta a tierra, en la planta de producción se cuenta con 2 unidades de producción de agua tratada con ósmosis inversas, que disminuye significativamente los PPM para el agua de enfriamiento que producirá el Chiller, además se tiene una correcta conexión trifásica junto con un sistema de pozos a tierra que garantizan el correcto funcionamiento y protección.

3.4.4 Descripción de los requerimientos

Los requerimientos o exigencias que deba cumplir la solución se formulan haciendo entre otras, las siguientes preguntas al cliente: ¿Cuál es la necesidad?, ¿Por qué y para qué se requiere satisfacer esta necesidad?, ¿Qué propiedades debe tener la solución?, ¿Qué propiedades no debe tener la solución?, Se presentan a continuación las exigencias o requerimientos que deberá cumplir la solución.

3.4.4.1 Lista de exigencias

A. Sustento de la lista de exigencias

- **Análisis externo**

Se realizó la respectiva Cotización con las empresas proveedoras de Chillers, de los cuales se obtuvo datos de las mejores ofertas, en la siguiente tabla se colocará algunos datos obtenidos de dos empresas en comparación y los datos de la tercera empresa elegida, no se mencionarán sus nombres por confidencialidad. Además de ello se realizó dos cuestionarios al área de Mantenimiento y Gerencia con la finalidad de que la selección del Chiller sea óptima, estos pueden ser revisados en los anexos 11 y 12, el anexo 11 es un cuestionario realizado al jefe de mantenimiento, y el anexo 12 a la gerencia administrativa, con las respuestas se llegó a la conclusión de la lista de exigencias para el análisis del sistema, pero, las respuestas no serán expuestas por motivos de confidencialidad.

Tabla 2.

Evaluación técnica de proveedores

	Ítem	Empresa proveedora de Chillers 1	Empresa proveedora de Chillers 2
	Precio	\$ 9965.0000	\$8860.0000
	Tipo de potencia	65KW	60KW
	Rango de temperatura	10°C	8°C
Especificaciones Técnicas	Consumo de gas baja presión	1600L/min	1700L/min
	Consumo	8000 kcal/hora	9000 kcal/hora

Nota. En la tabla se expone algunos de los datos expuestos por los proveedores con lo que se hizo una comparación de sus especificaciones técnicas y el precio. Fuente: Elaboración propia.

- **Análisis interno**

Para obtener una lista de exigencias del producto Chiller para la empresa Envasadora Majes, se tuvo una reunión con personal de mantenimiento, seguridad, proyectos y de gerencia, donde se recopiló datos de algunas características que debería tener el equipo.

La necesidad inmediata, según el gerente general, era de elevar la capacidad de disipación calorífica en la sopladora ECENG Q6000, manteniendo un costo bajo, así mismo el jefe de mantenimiento indicó que el mantenimiento debería ser lo más simple posible, debido a que en planta no se cuenta con un equipo parecido, así como la simplicidad de tareas de mantenimiento programadas; el supervisor de seguridad y salud ocupacional, dio alcance sobre la inquietud de un bajo estrés térmico por disipación de calor y el jefe de proyecto indicó que el refrigerante usado, debe de ser de fácil acceso en el mercado así como los componentes y accesorios de reemplazo en mantenimiento.

Tabla 3.

Lista de exigencias

		Lista de exigencias	Pág. 1 de 1
			Edición:
			Rev. 1
			Fecha: 07/10/2020
			Revisado:
			E.P.Q.
			Elaborador:
			C.A.R.A.
			Responsable:
			C.A.R.A.
Cambios (Fecha)	Deseo o exigencia	Descripción/Exigencias	
FUNCIÓN PRINCIPAL			
E		Máquina para producir o generar agua refrigerante. Y permitir el correcto funcionamiento de la máquina sopladora sin percibir sobrecalentamientos.	C.A.R.A.
E		Usar tecnología apropiada respecto a las condiciones que se presentan en la ciudad y sobre todo analizar su correcto funcionamiento por ser una máquina automatizada.	C.A.R.A.
D		La máquina debe estar diseñada para generar agua refrigerante para controlar la temperatura en un largo periodo de tiempo.	C.A.R.A.
GEOMETRÍA			
E		Altura máxima: 1650 mm	C.A.R.A.
E		Ancho máximo: 2100 mm	C.A.R.A.
E		Largo máximo: 2230 mm	C.A.R.A.
FUERZAS			
D		La máquina tendrá la capacidad, rigidez y estabilidad. De cumplir los turnos de trabajo con una correcta	C.A.R.A.

	funcionalidad.	
E	La energía empleada deberá de ser la adecuada sin alterar los niveles de consumo o sobrecargar la central de distribución.	C.A.R.A.
D	Se operará de forma automática con un control regular por los operadores. (antes de iniciar cada turno)	C.A.R.A.
SEGURIDAD		
E	Seguridad de la máquina mientras se opera. Además de la correcta señalización de los alrededores de la misma.	C.A.R.A.
E	No debe tener efecto contaminante, los decibelios de ruido deben estar dentro de lo moderado.	C.A.R.A.
ERGONOMÍA		
D	Posición cómoda de abastecimiento de agua.	C.A.R.A.
E	El uso de la máquina será fácil de comprender y realizar	C.A.R.A.
MONTAJE		
E	La máquina será acoplada con la tecnología apropiada (maquinaria seleccionada para el traslado además del previo análisis de la ubicación).	C.A.R.A.
TRANSPORTE		
E	El traslado será por vía marina y terrestre, ya que es una máquina que requiere de un cuidado especial.	C.A.R.A.
E	Deberá de ser trasladado directamente del puerto a la empresa sin ninguna escala.	C.A.R.A.
D	Operación sencilla, traslado en vehículo de la misma empresa.	C.A.R.A.
MANTENIMIENTO		
E	El equipo tendrá que ser de fácil inspección y reparación de piezas	C.A.R.A.
D	No requiere capacitación	C.A.R.A.
COSTO		
E	Debe ser factible ya que al ser una máquina automatizada y de origen chino su costo es menor a una americana.	C.A.R.A.
E	La selección de la máquina deberá ser previa a reconocer sus componentes para la fácil compra de repuestos.	C.A.R.A.

Fuente: Elaboración propia

Nota. En la tabla se indica E de exigencia y la D de Deseo.

3.4.5 Concepción de la Solicitud

La elaboración del concepto se realiza después de detallar el problema a través de un proceso de abstracción.

La formulación de la estructura de funciones y la búsqueda de principios de solución apropiados para cada una de las funciones, así como el procesamiento de la combinación de los posibles caminos de solución, nos permitirán determinar un concepto óptimo de solución.

La elaboración del concepto tiene tres partes:

- La estructura de funciones.

- El concepto de solución.
- Evaluación de las propuestas.

Las funciones ordenadas y agrupadas adecuadamente pueden ofrecer una variedad de posibles soluciones que deben ser evaluadas para obtener la solución definitiva.

- **Estructura de funciones**

La caja negra “Black-box” representa una función donde solo se tiene tres magnitudes básicas de entrada y salida: materia, energía y señales. Al Chiller se tiene como entrada la energía eléctrica y se obtiene de salida energía calorífica disipada. Como segunda entrada se tiene los materiales que vendrían a ser el agua caliente y el aire atmosférico, de los cuales se obtienen como salida agua fría y aire caliente. Como última entrada al sistema de enfriamiento de agua se tiene la señal de encendido el cual vota una señal de temperatura.

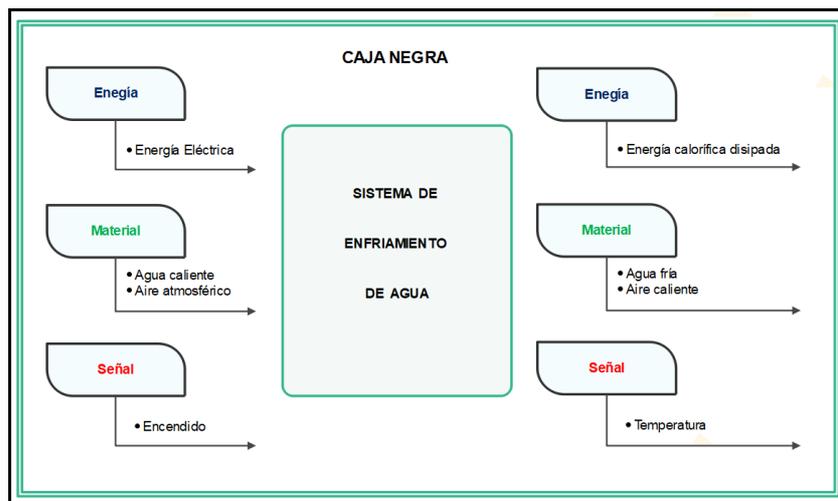


Ilustración 17. Caja negra (Black-box)

Fuente: Elaboración propia

En esta etapa se buscan las funciones que la máquina a adquirir debe cumplir para llevar a cabo su función principal.

Función principal: Toda máquina o equipo se puede describir como una función total representada por la caja negra donde ocurre una transformación, llamado proceso técnico. Para el presente equipo o máquina, la función principal consiste en generar agua helada (refrigerante).

Funciones parciales: La función total de la máquina en la mayoría de casos, puede subdividirse en funciones parciales que cumplen con una tarea específica dentro de esta, logrando cumplir con el proceso técnico requerido:

- Evaporador: el refrigerante a baja temperatura y presión pasa por el evaporador y este absorbe el calor, es un intercambiador de calor como el condensador.
- Compresor: elevar la presión del fluido refrigerante para la continuidad del sistema.
- Condensador: extracción del calor del fluido.
- Válvula de expansión: paso de líquido de alta a baja presión en una mezcla de líquido vapor para completar el ciclo.

La unión de las funciones parciales da origen a la estructura de funciones, la cual representa en detalle la función total. Estas funciones se pueden agrupar de diferentes formas, uniéndose o dividiéndose con el objetivo de obtener una combinación adecuada, las combinaciones obtenidas en este proceso deben ser evaluadas para las condiciones dadas, fijando las alternativas óptimas.

Luego de analizar diversas configuraciones, se obtuvo la estructura de funciones óptimas, mediante una caja gris el cual representa las entradas al sistema de enfriamiento de agua detalladamente. Se inicia con la entrada de la energía hacia el compresor, el cual cumple la función de encendido, seguidamente ingresa aire frío al condensador y agua caliente al evaporador estos materiales descritos salen en forma de agua fría y aire caliente, por último, se tiene como ingreso la señal de encendido y apagado, obteniendo que el sensor de temperatura cumpla la función de verificar la temperatura que emitirá la orden de encendido o apagado de acuerdo con la temperatura misma que se muestra continuación:

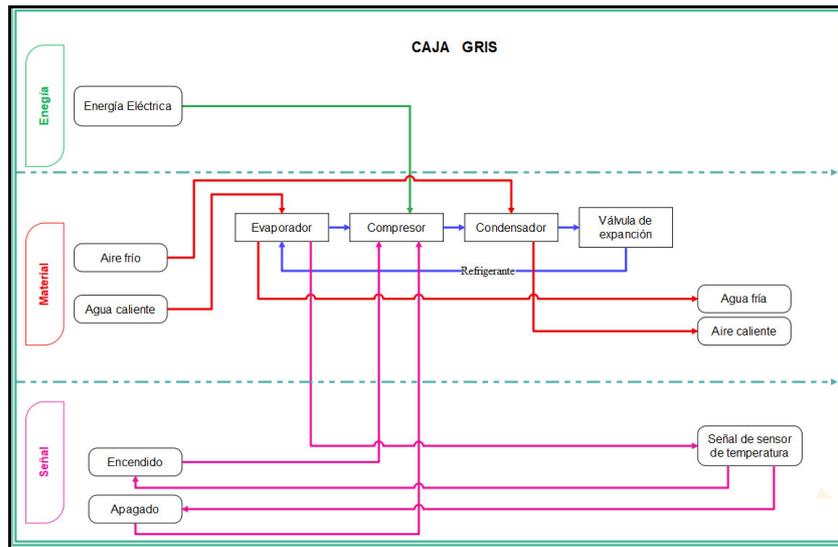


Ilustración 18. Estructura de funciones-Caja Gris
Fuente: Elaboración propia

3.4.6 Concepto de solución

Cada subfunción o función parcial encontrada, requiere un principio de trabajo o portador de función que concrete una materialización de la estructura de trabajo. Estos principios de trabajo, deben reflejar el efecto físico necesario para el cumplimiento de su función.

Entre las rutas para la selección de los principios tecnológicos encargados de satisfacer las subfunciones, resalta la aplicación de un esquema ordenado en que se muestra cada una de las funciones parciales acompañada de todos los principios de solución, alternativas que satisfagan dicha función.

Estos portadores de función deben ser combinados de una manera lógica y físicamente compatible, en una estructura de trabajo para generar una solución global al problema. A partir de estas combinaciones de los portadores de función, se obtiene un grupo de soluciones que en teoría suele ser amplio, sin embargo, la oportuna intervención del diseñador dejando de lado los principios o bloques funcionales que no cumplan con los requerimientos presentados en la lista de exigencias.

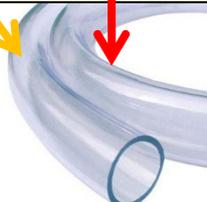
3.4.7 Matriz morfológica

A continuación, se presenta una tabla en donde se indica las alternativas con la finalidad de escoger la más óptima para el presente estudio.

Tabla 4.

Matriz Morfológica.

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1	Suministro de agua		
	Manual	Bomba Centrífuga	Grifo de agua
			
	Tuberías	Balde	Mangueras
			
2	Evaporador		
	Tubos de enfriado	calaminas	
			
	Mangueras	Tubo de agua	
			

3	Compresor		
	Compresor	Compresor móvil	
			
	Mangueras	Tuberías	Tubo de enfriamiento
			
4	Condensador		
	Condensador	bidones de agua	
			
	Tubo de enfriamiento	mangueras	
			
5	válvula de expansión		
			

Fuente: Elaboración propia

Leyenda:

S3

S2

S1

3.4.8 Evaluación de las propuestas

Los criterios para la evaluación técnica en la evaluación de propuestas según la matriz morfológica, son 9 como se muestra en la tabla 3, estos criterios fueron adaptados después de una entrevista con el jefe de mantenimiento de la empresa, el encargado de seguridad y de proyectos, reunión donde la propuesta de la tabla fue mostrada y aprobada, con un rango de importancia de 0 – 4, siendo 0 un valor nulo del criterio y 4 un valor máximo. (Rudas Ramírez, 2015).

Tabla 5.

Evaluación técnica de las propuestas

N°	Criterios técnicos de evaluación	Factor de importancia	Soluciones			
			S3	S2	S1	S ideal
1	Seguridad	3	3	4	2	5
2	Rendimiento	3	4	4	3	5
3	Costo de energía	3	4	3	4	5
4	Precisión	3	3	3	2	5
5	Facilidad de manejo	2	4	3	4	5
6	Mantenimiento	2	4	4	4	5
7	Accesorios	2	4	4	2	5
8	Ruido	1	4	3	4	5
9	Confiabilidad	1	3	4	2	5
Total			72	70	61	100
Coeficiente técnico			72%	70%	61%	100%

Fuente: Elaboración propia

Los criterios para la evaluación económica en la evaluación de propuestas según la matriz morfológica son 5 como se muestra en la tabla 4, estos criterios fueron adaptados después de una entrevista con el jefe de mantenimiento, coordinador de logística, jefe de calidad y operaciones, también el encargado de seguridad y de proyectos; reunión donde la propuesta de la tabla fue mostrada y aprobada, con un rango de importancia de 0 – 4, siendo 0 un valor nulo del criterio y 4 un valor máximo. (Rudas Ramírez, 2015).

Tabla 6.

Evaluación económica de las propuestas

N°	Criterios económicos de evaluación	Factor de importancia	Soluciones			
			S3	S2	S1	S ideal
1	Materiales	3	4	4	2	5
2	Fabricación	3	4	3	4	5
3	Operación	2	4	3	3	5
4	Mantenimiento	2	4	4	3	5
5	Eficiencia/ Producción	3	3	4	2	5
Total			49	47	36	65
Coeficiente económico			75%	72%	55%	100%

Fuente: Elaboración propia

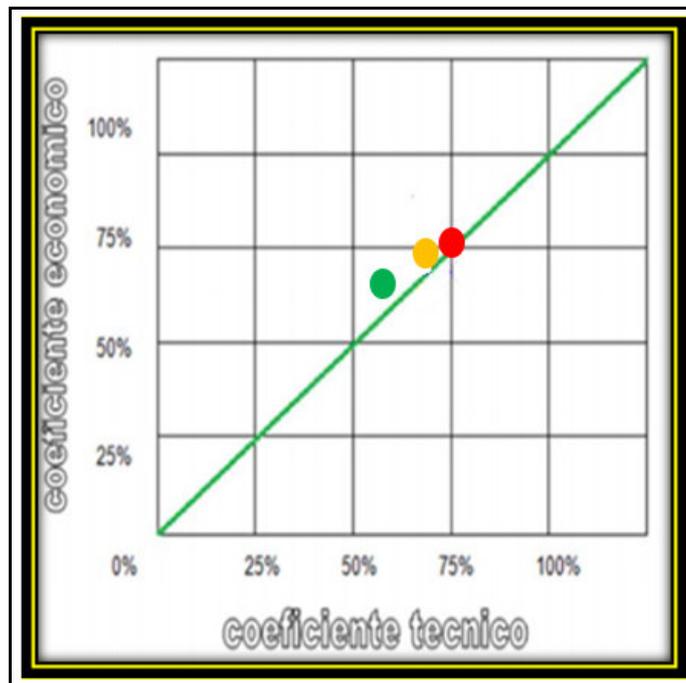


Ilustración 19. Selección de sistema

Fuente: Elaboración propia

Nota: en esta Ilustración se muestran tres colores, donde el color rojo representa la solución 1 (S1), el color amarillo representa a la solución 2 (S2) y por último se muestra el punto rojo el cual vendría a ser la solución 3 (S3). Fuente: Elaboración propia.

En conclusión, el análisis de diseño nos lleva a seleccionar el sistema S3 (de color rojo) que nos arroja un sistema de enfriamiento tipo Chiller, que tiene un mayor porcentaje en el análisis técnico económico en comparación con los sistemas S1 y S2, el

porcentaje en el nivel técnico llega a 72% y en el nivel económico al 75%, con un promedio de 73.5 %, siendo el sistema ideal del margen de 100%.

Como podemos observar en la ilustración 18, se aprecia la comparación del coeficiente técnico (eje x) y el coeficiente económico (eje y) con los colores verde, naranja y rojo según la leyenda, para los sistemas S1, S2 y S3, donde apreciamos que el valor más alto es el sistema S3.

El sistema elegido será la solución S3 de color rojo de la ilustración 18, cuenta con un sistema de bombeo para transportar el agua fría que utiliza una bomba centrífuga, enfriado por aire en su unidad condensadora por convección forzada de tiro forzado, un compresor hermético comercial con separador de aceite, con un sistema de control para calibrar la temperatura fría del agua de preferencia con un PLC incorporado para una fácil calibración del set point (temperatura de apagado de compresor) y diferencial (aumento de temperatura para encendido de compresor), según requerimientos del operador y con todas las características de un sistema de frío de compresión a vapor.

3.5 DISEÑO DE SISTEMAS

Para verificar la correcta instalación del sistema hidráulico y eléctrico del Chiller, y verificar el sistema de control del Chiller, se realizó un flujo de secuencias para la respectiva instalación de la máquina.

3.5.1 Flujo de secuencias

Descripción del proceso de instalación del Chiller industrial de 3 TR, así como los componentes principales para el acople con la sopladora ECENG Q6000.

A través de la revisión de los planos hidráulicos y mecánicos y documentación técnica de la instalación de la sopladora ECENG Q6000, así como entrevistas con el personal de operación y de mantenimiento y el encargado del proyecto de instalación del Chiller industrial de 3TR y la observación directa en el proceso de instalación de algunos subcomponentes de enfriamiento de la sopladora ECENG Q6000. Se logró generar una descripción del proceso de instalación del Chiller de 3TR.

La instalación fue realizada por el personal de mantenimiento y de proyectos de la empresa Envasadora Majes E.I.R.L

El proceso de instalación se inicia de la siguiente manera:

- Primero: Limpieza y acondicionamiento del área de instalación del Chiller de 3TR.
- Segundo: Recepción del Chiller de 3TR en la empresa.

- Tercero: Fijación de placas de acero para bases del Chiller 3 TR.
- Cuarto: desembalaje y limpieza del Chiller de 3 TR.
- Quinto: Traslado y fijación del Chiller de 3 TR al área acondicionada con ayuda de un montacarga de 3 toneladas.
- Sexto: Colocación de tuercas de empotramiento a la base.
- Séptimo: Instalación de tuberías de ingreso y salida de agua del Chiller a la sopladora.
- Octavo: colocación de espuma aislante de tuberías de agua.
- Noveno: Instalación de cables y tuberías de corriente eléctrica trifásica del tablero de control de sopladora hacia el tablero del Chiller.
- Décimo: Llenado de agua con anticongelante al tanque de almacenamiento.

Luego de la instalación se realizó la puesta a prueba verificando amperajes, presiones de alta y baja y temperatura del tanque de enfriamiento.

Después se desarrolló un diagrama de secuencias donde se observará la secuencia de cada uno de los pasos para la instalación del Chiller.

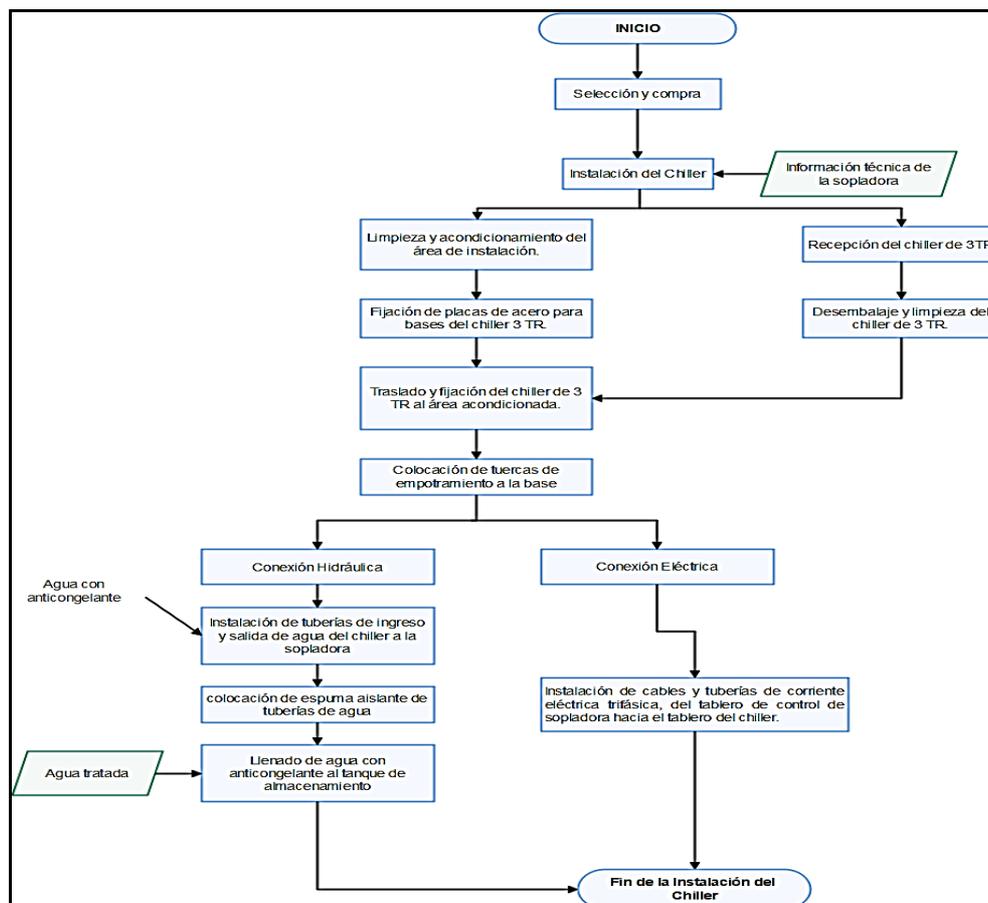


Ilustración 20. Flujo de secuencias

Fuente: Elaboración propia

3.6 DESCRIPCIÓN DE VISITA PREVIA

Para poder efectuar la toma de datos primero, se generó una visita de planta, donde pudimos corroborar la instalación de la torre de enfriamiento y su correcto funcionamiento; sin embargo, llamo la atención la baja productividad de la máquina sopladora ECENG Q6000, tenemos que entender que la máquina sopladora automática fue comprada de segundo uso, contaba con un Chiller de enfriamiento, pero quedó inhabilitado y se procedió a adquirirlo sin un Chiller de enfriamiento.

En la planta de producción Envasadora Majes E.I.R.L, tienen una sopladora semiautomática de 800 BPH para botellas de 500 ml., usa una torre de enfriamiento artesanal, la cual fue acoplada a la nueva máquina automatizada ECENG Q6000, por desconocimiento técnico y para disminuir costos.



Ilustración 21. Vista de torre de enfriamiento artesanal
Fuente: Elaboración propia

Al acoplar la torre de enfriamiento artesanal a la nueva máquina automatizada, la producción que alcanzó fue de 1500 BPH, al aumentar la producción el molde y las bandejas de enfriamiento, comenzaron a subir su temperatura, teniendo problemas de dilatación en el finish (rosca de la preforma) y las botellas recién sopladas se pegaban al molde, se intentó colocar aire presurizado en las bandejas de los hornos y se activó un ventilador centrífugo para bajar la temperatura, pero no se logró aumentar la producción; la solución para aumentar la producción era comprar un Chiller industrial para mejorar la

variación de temperaturas de agua de enfriamiento y así aumentar la productividad, el problema era elegir un Chiller, ya que no se tiene datos técnicos ni históricos de la ECENG Q6000, se buscó datos en internet y se procedió a seleccionar un Chiller de 3 TR con refrigerante R22 y fluido secundario agua tratada, sacada directamente de la planta de tratamiento de agua de producción, recordemos que ENVASADORA MAJES EIRL, produce jugos y gaseosas en la región Arequipa y ya tiene un mercado posesionado en la región sur.

3.7 EVALUACIÓN EL FUNCIONAMIENTO DE LA SOPLADORA



Ilustración 22. Máquina sopladora
Fuente: (Zhangjiagang Eceng, 2020)

Tabla 7.*Evaluación de la máquina sopladora*

Modelo		Q6000
Especificación del tipo de botella	Cavidad	4
	Teoría salida bph	5500-6500
	Max. volum.	2L
	Diámetro total máximo de la boca de la botella	28-38 mm
	Diámetro de la botella más grande	100 mm
	Altura máxima de la botella	330 mm
Especificación de potencia	Cantidad de tubo de luz	40 unids
	Tubo de luz de potencia	1.5 KW
	Potencia máxima de calentamiento	60 KW
	Toda la instalación de la maquina eléctrica	65 KW
	Consumo actual	40% - 70%
Especificación de presión de aire	Presión de trabajo	7-9 kg / cm ²
	Consumo de gas a baja presión	1600 L / min
	Presión de la botella de golpe	25-35 kg / cm ²
	Mayor consumo de gas a presión	6000 ltr / min
Especificación de presión de aire	Presión de trabajo	5-6 kg / cm ²
	Rango de temperatura	10 °C
	Consumo	8000 kcal / hora
	Forzen flujo de agua	138 L / min
Especificación de la máquina	Tamaño de la máquina x	4.5 x 2.0 x 2.3
	Peso de la máquina x	1.5 toneladas

Fuente: (Zhangjiagang Eceng, 2020)

Para poder entender y simular el funcionamiento del proceso de soplado de preformas de botellas, se empleó el programa FluidSIM 5 Demo, el programa proporcionó todos sus complementos y extensiones por un tiempo limitado, sin embargo, fue suficiente para poder elaborar un diagrama complejo del funcionamiento de la máquina sopladora de botellas.

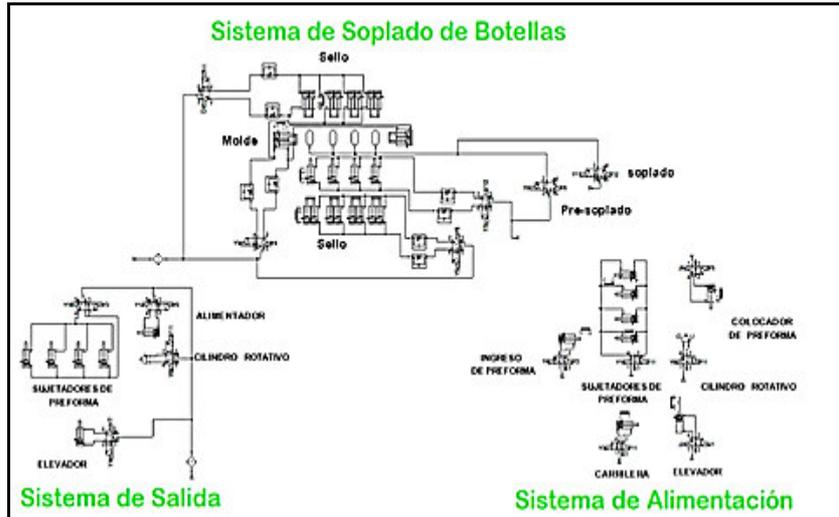
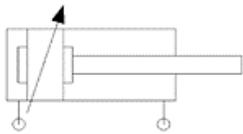
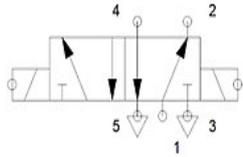


Ilustración 23. Sistema Neumático de la Máquina Sopladora
Fuente: Elaboración propia

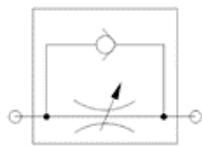
En la presente imagen se muestra el diagrama de la máquina sopladora modelado en el programa FluidSIM 5, este sistema consta de cilindros pistones neumáticos de doble efecto los cuales son controlados por válvulas 5/2 con accionamiento solenoide, un solenoide se encarga de accionar 3 válvulas de cada sistema para que este se desarrolle a la par y no se vea interrumpida la línea de producción y alimentación.

Tabla 8.

Componentes del sistema neumático

Componentes del Sistema Neumático			
Componente	Diagrama	Descripción	Imagen
Cilindro neumático de pistón de doble efecto.		Encargado de realizar la función de movimiento en el sistema mediante el ingreso de aire comprimido.	
Válvula 5/2 con accionamiento por solenoide.		Accionadas por un sistema Solenoide, son las encargadas de controlar el ingreso y la salida del aire comprimido a los pistones.	

Válvula antirretorno estranguladora.



Regula la velocidad de avance y el caudal, a su vez impide la inversión del flujo.

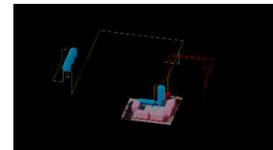


Líneas de alimentación.

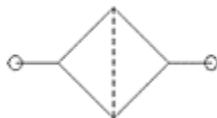
de



Son las encargadas de abastecer todo el sistema de aire comprimido.



Filtro.



Se encarga de filtrar impurezas presentes en el aire comprimido como el polvo para evitar dañar los componentes.



Fuente de alimentación.

de



Encargada de suministrar el aire comprimido al sistema



Fuente: Elaboración propia

3.8 MANUAL DE OPERACIÓN BÁSICO DE UNA SOPLADORA

Para un mejor entendimiento del proceso de soplado junto con el Chiller (ambos equipos funcionan en paralelo), se generó un manual de operaciones básico (anexo 14) que el operador debe de ver todos los días antes de encender la maquinaria; dicho manual debe ser visible y pegado en la maquinaria, como información general, por norma de la empresa y validando el programa SSOMA (seguridad, salud ocupacional y medio ambiente), el manual de operación visualizable por el operador en la maquinaria está en el (anexo 6).

Para la operación correcta de la sopladora se propone que los operadores realicen los exámenes básicos e intermedios los cuales se exponen en los (anexos 7 y 8) con la finalidad de que cumplan las expectativas de seguridad y de operación.

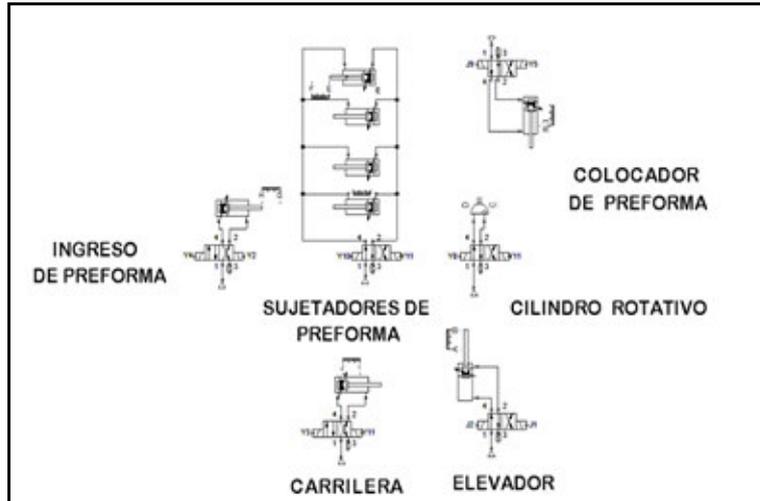


Ilustración 24. Sistema de alimentación de preformas
Fuente: Elaboración propia

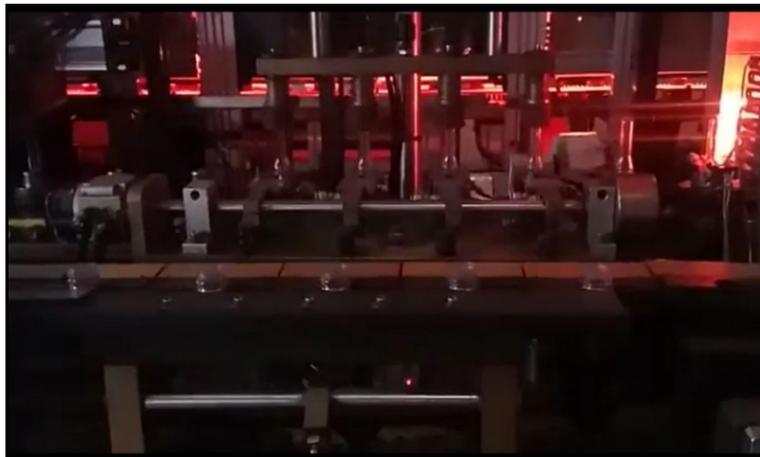


Ilustración 25. Sistema de alimentación de preformas
Fuente: Elaboración propia

Para la alimentación de preformas al área de soplado, este proceso inicia con la activación del pistón de ingreso, el cual alimenta la línea de preformas a ser procesadas, se acciona el elevador el cual mueve las pinzas sujetadoras encargadas de sujetar y colocar 4 preformas al carril de alimentación de soplado, la carrilera se encarga de tener las preformas estables para el proceso de sujeción, el pistón colocador se encarga de estabilizarlas las preformas colocadas para su transporte y evitar que estas caigan, se activa el cilindro rotativo que llevará las preformas al área de soplado y por último se activa nuevamente el pistón de ingreso de preformas.



Ilustración 26. Foto del sistema de soplado de botellas
Fuente: Elaboración propia

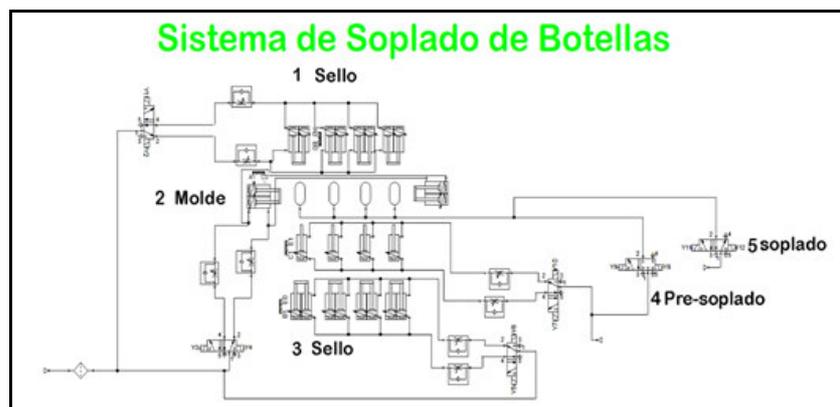


Ilustración 27. Sistema de soplado de botellas
Fuente: Elaboración propia

Para métodos de mejor comprensión. en el diagrama se muestra el uso de múltiples pistones para la cámara de sellado y molde, sin embargo, este es un trabajo que realiza un solo pistón.

El funcionamiento del sistema parte del ingreso de las preformas al sistema de soplado, el primer pistón en accionarse es el del sello en la parte superior, seguido del pistón del molde y por último el pistón del sello de la parte inferior, siendo este el lugar de ingreso de las barrillas de inyección de aire activándose el sistema de pre-soplado usando aire de media presión (14 bar), por último, se activa la válvula de soplado a 28 Bar que dará la forma del molde a las preformas.

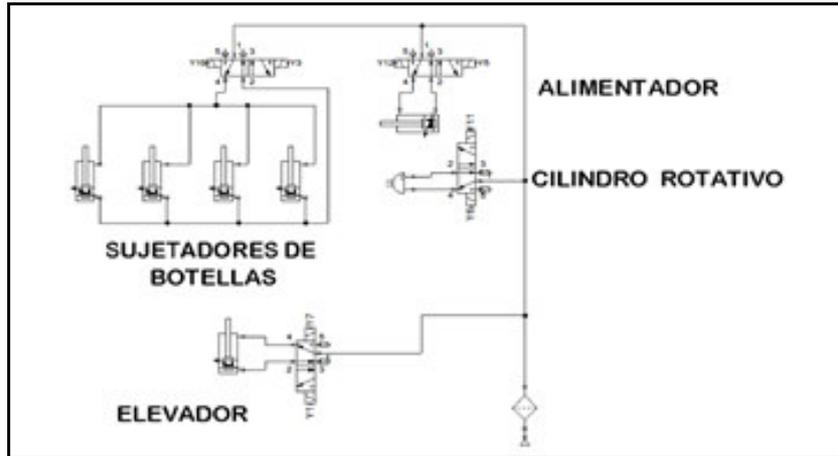


Ilustración 28. Sistema de salida de botellas
Fuente: Elaboración propia



Ilustración 29. Sistema de salida de botellas
Fuente: Elaboración propia

Luego de que las preformas fueron sopladas, se activa el cilindro rotativo para sacar las 4 botellas del área de soplado, se activa el pistón elevador el cual mueve las pinzas para que sujeten las botellas, se activa un segundo pistón (alimentador) que levanta las pinzas, a su vez el pistón elevador regresa las pinzas a su posición original para que estas suelten las botellas.

- **Sistema Eléctrico**

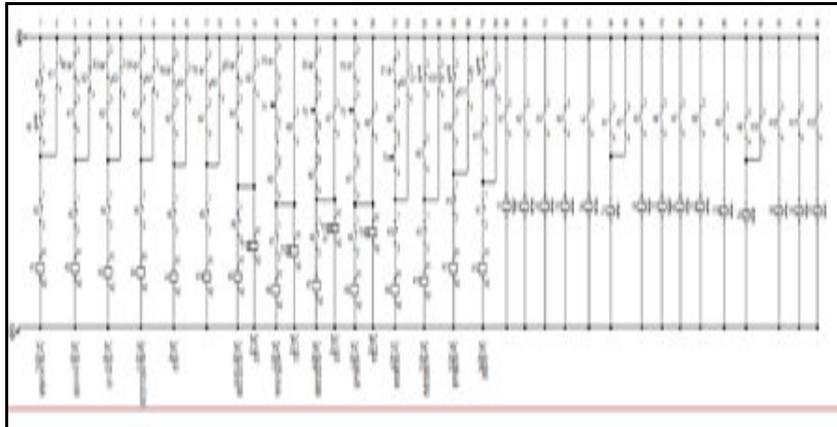


Ilustración 30. Sistema eléctrico FLUIDSIM
Fuente: Elaboración propia

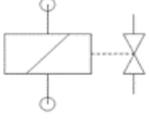
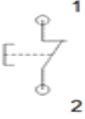
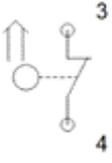
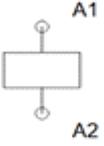
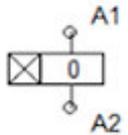


Ilustración 31. Sistema eléctrico sopladora
Fuente: Elaboración propia

El sistema eléctrico empleado para el funcionamiento del sistema de soplado de botellas, emplea un actuador el cual manda la señal eléctrica a todo el sistema eléctrico, en segunda instancia, encontramos un obturador con Rodillo interruptor de fin de curso, este cumple con la labor de monitorear el funcionamiento de los pistones ya que está directamente relacionado a la posición de inicio y fin de carrera de estos, posteriormente encontramos un franqueado el cual activa un Relé conectado a un obturador que monitorea un actuador solenoide directamente relacionado a la operación de las válvulas de alta las cuales dan paso al aire de alta presión haciendo que los pistones actúen.

Tabla 9.

Componentes del sistema eléctrico

Componentes del Sistema Eléctrico			
Componente	Diagrama	Componente	Diagrama
Conexión eléctrica de 0V/24V		Solenoide de válvula	
Pulsador (Franqueador)		Franqueador	
Obturador		Obturador con rodillo interruptor de fin de curso	
Relé		Relé con desaceleración de arranque	

Fuente: Elaboración propia

- **Torre de enfriamiento artesanal**

La torre de enfriamiento artesanal funciona según el esquema presentado, contiene un depósito donde se almacena agua de reposición y el agua recuperada que viene de la sopladora, donde a través de una bomba es llevada a las zonas donde se debe absorber calor (molde y bandeja), para luego retornar por la zona alta donde cae por gravedad a través de una serie de calaminas instaladas con una pendiente, donde el agua cae por un total de 9 calaminas con un área aproximada de 7 m², es enfriado por el aire a temperatura ambiente y llega de nuevo al depósito con la temperatura disminuida, para continuar el proceso en un ciclo cerrado, una pequeña parte del agua se evapora en el proceso, es por eso por lo que se necesita un flujo de reposición al depósito.

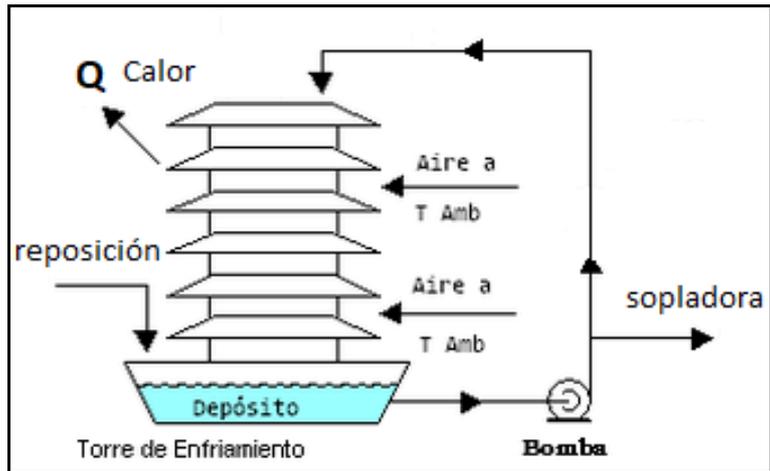


Ilustración 32. Esquema de funcionamiento de torre de enfriamiento de sopladora
Fuente: Elaboración propia



Ilustración 33. Toma de temperaturas en diferentes puntos de la torre de enfriamiento
Fuente: Elaboración propia

Para tomar medidas se realiza la toma de temperaturas al ingreso de la sopladora, al retorno y a la caída al depósito, así como el caudal que genera la bomba.



Ilustración 34. Medida de caudal en la caída de agua en torre de enfriamiento
Fuente: Elaboración propia

- **Chiller de reemplazo**

La selección de Chiller de reemplazo, fue dada por la selección del sistema S1, según la norma VDI 2221, el Chiller de reemplazo carecía de especificaciones técnicas por ser de segundo uso (anexo 15), pero pudimos obtener que el refrigerante de uso es el R22, con un rango de temperaturas de 7°C – 12°C en su funcionamiento, para uso de refrigerante secundario (agua tratada) con una capacidad de 3 TR, un tanque de 30 litros de capacidad, una bomba de 1 hp de potencia y un sistema de control táctil, de fabricación china, adaptada de una sopladora de la misma capacidad y marca (ECENG Q6000) pero que estaba en desuso; se procedió hacerle un mantenimiento preventivo y su puesta en marcha, para posteriormente tomar medidas de presiones, temperaturas y caudales, para su evaluación energética y la posterior comparación con la torre de enfriamiento.



Ilustración 35. Vista del Chiller de 3 TR
Fuente: Elaboración propia

El funcionamiento del Chiller, consta de un sistema de compresión primario con R22 y un compresor de 1 hp, con un condensador forzado con enfriamiento de aire, un dispositivo de expansión con manómetros de alta y baja, un evaporador en un tanque de agua tratada que enfría el mismo; el tanque almacena agua y es bombeado a la sopladora a una temperatura baja para mejorar la transferencia de calor con la variación de temperatura entre ingreso y salida, al retorno el agua llega al tanque y se repite el ciclo, en el proceso se evapora parte del agua del tanque, por eso hay un ingreso de agua de reposición; el ingreso del agua de reposición se da a través de una boya de llenado, el tanque está aislado como la línea de descarga de la bomba.

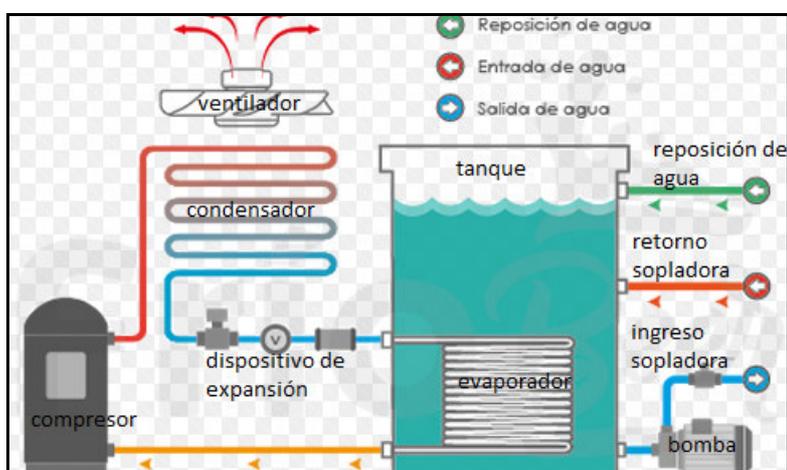


Ilustración 36. Esquema de Chiller Industrial
Fuente: Elaboración propia



Ilustración 37. Vista interna del Chiller de 3 TR.

Fuente: Elaboración propia

- **Propuesta del plan de mantenimiento del Chiller**

Para el plan de mantenimiento del Chiller, se adjuntó el plan total de mantenimiento de la línea de producción de bebidas se separó algunos datos para la sopladora, y se colocó como un total siendo parte del sistema de soplado, debido a que no requiere de un mantenimiento exhaustivo (el Chiller) y puede ser absorbido por el sistema de soplado; es decir: sopladora, sistema de transporte de preformas y botellas y sistema de enfriamiento (Chiller).

Se situó los componentes a cambiar de forma semanal mensual y anual, así como las especificaciones de serie y modelo de los componentes y el nivel de criticidad, para una mejor visualización y detalles, se adjuntó el plan de mantenimiento en formato Excel (debido a que la empresa maneja su propio sistema) tuvimos que pasar dicho plan de mantenimiento a formato Excel, por problemas de confidencialidad, algunos datos son originales y pudimos mostrarlos con permiso de la empresa, dicha información puede visualizarse en el anexo 2.

3.9 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la recolección de datos se utilizó diferentes equipos que se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 10.*Lista de instrumentos de medición*

Ítem	Nombre	Marca y modelo	Punto de medición	Componente	Equipo	Error	Figura
1	Pinza amperimét	Fluke 376	Alimentación del compr	Compresor	Chiller	2%	
2	Manómetro de al	Desconocido	Salida de compresor	Tubería de cobre	Chiller	5%	
3	Manómetro de b	Desconocido	Entrada al compresor	Tubería de cobre	Chiller	5%	
4	Pirómetro	Fluke 561	Varios puntos	Varios componer	Chiller y tor	3%	
5	Caudalímetro	Desconocido	Tubería de agua	Tubería de salida	CHiller y tor	5%	

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

4.1.1 Evaluación energética de la torre de enfriamiento

La torre de enfriamiento artesanal, cuenta con un enfriamiento a convección libre-forzada, debido a que se encuentra fuera de las instalaciones, se procedió a obtener el h convectivo ($W/m^2 \cdot K$) que según tablas (YUNUS CENGEL, 2016) debe de estar en el rango entre 25 – 250 ($W/m^2 \cdot K$).

Tabla 11.

Valores de coeficiente de convección

Valores típico del coeficiente de transferencia de calor por convección	
Tipo de convección	$h, W/m^2 \cdot ^\circ C$
Convección libre de gases	2-5
Convección libre de líquidos	10-1000
Convección forzada de gases	25-250
Convección forzada de líquidos	50-20 000
Ebullición y condensación	2 500- 100 000

Fuente: (Boles & Cengel, 2012)

Para el cálculo del calor absorbido y el h convectivo de la torre de enfriamiento, se utilizó el siguiente modelo matemático:

- Marco de referencia para evaluación energética de la torre de enfriamiento
- Datos medidos con torre de enfriamiento en funcionamiento

$T_A = 20 [^\circ C]$

Temperatura de salida de la bomba.

$T_B = 28$ [°C] Temperatura de salida del proceso.

$T_C = 21$ [°C] Temperatura de entrada al tanque.

$T_{amb} = 15$ [°C] Temperatura ambiente.

$CP = 4.18$ $\left[\frac{KJ}{Kg} - C\right]$ Calor específico del agua.

$\rho = 1000$ $[Kg/m^3]$ Densidad del agua.

Cálculo del flujo másico de agua de enfriamiento en kg/s:

$$M = V * \left[0.0000166667 * \frac{\frac{m^3}{s}}{\frac{l}{min}} \right] * \rho$$

Flujo de calor emitido por la sopladora en kW

$$Q_{sopladora} = CP * M * (TB - TA)$$

El flujo de calor absorbido por el agua de enfriamiento es igual al calor emitido por la sopladora en kW:

$$Q_{sopladora} = Q_{te}$$

Cálculo del h convectivo (W/m² K) a través de la fórmula de transferencia de calor por convección

$$Q_{te} = At * h * \left[\frac{TB - T_{amb}}{1000} \right]$$

Donde las temperaturas fueron medidas con el pirómetro fluke 561, del área de mantenimiento de la empresa.



Ilustración 38. Medida de temperatura con Fluke 561 en torre de enfriamiento

Fuente: Elaboración propia

El área total fue calculada por el área de cada calamina ondeada (0.87 m^2), multiplicada por el número de calaminas (9), lo que dio un área de 8 m^2 .

El caudal se midió haciendo un by-pass al ingreso del tanque calculando el volumen (figura 21) con el tiempo cronometrado, hay que resaltar que dichas mediciones se hicieron en campo, donde obtuvimos aproximadamente un caudal de 5 litros por minuto.

Consideramos las constantes del agua como el $C_p=4.18 \text{ kJ/kg}$ el calor específico del agua y la densidad como 1000 kg/m^3 .

Con el modelo matemático utilizado, colocamos las ecuaciones en un software Engineering Equation Solver (en inglés, Solucionador de ecuaciones de ingeniería), abreviado EES (pronunciado ease) en su versión EES Versión (10.640D 1992-2019) Versión demostrativa.



Ilustración 39. EES Versión (10.640D 1992-2019) Versión demostrativa

Fuente: Elaboración propia

Donde colocamos el siguiente compendio de ecuaciones en la ventana de ecuaciones del software.

```
"CÁLCULO DE TORRE DE ENFRIAMIENTO ARTESANAL"
"DATOS"
TA=20 [°C] "TEMPERATURA DE SALIDA DE BOMBA"
TB=28 [°C] "TEMPERATURA DE SALIDA DE PROCESO"
TC=21 [°C] "TEMPERATURA DE ENTRADA A TANQUE"
Tamb=15 [°C] "TEMPERATURA AMBIENTE"
V_dot=5 [l/min] "CAUDAL DE AGUA"
At=8 [m2] "ÁREA TOTAL DE TORRE DE ENFRIAMIENTO [m2]"
CP=4.18 [kJ/kg-C] "CALOR ESPECIFICO DEL AGUA"
rho=1000 [kg/m3] "DENSIDAD DEL AGUA"
"Cálculo de eficiencia de torre de enfriamiento"
M_dot=V_dot*convert(l/min,m3/s)*rho "FLUJO MÁSSICO DEL AGUA [kg/s]"
Q_dot_sopladora=CP*M_dot*(TB-TA) "CALOR EMITIDO POR SOPLADORA [kW]"
Q_dot_sopladora=Q_dot_te "CALOR ABSORVIDO POR TORRE DE ENFRIAMIENTO [kW]"
Q_dot_te=At*h*(TB-Tamb)/1000 "CÁLCULO DEL H CONVECTIVO DE TORRE DE ENFRIAMIENTO [W/m2-K]"
```

Ilustración 40. Ventana de ecuaciones software EES
Fuente: Propia

Donde obtuvimos las siguientes ecuaciones, en la ventana de ecuaciones formateadas

```
CÁLCULO DE TORRE DE ENFRIAMIENTO ARTESANAL
DATOS
TA = 20 [°C] TEMPERATURA DE SALIDA DE BOMBA
TB = 28 [°C] TEMPERATURA DE SALIDA DE PROCESO
TC = 21 [°C] TEMPERATURA DE ENTRADA A TANQUE
Tamb = 15 [°C] TEMPERATURA AMBIENTE
V̇ = 5 [l/min] CAUDAL DE AGUA
At = 8 [m2] ÁREA TOTAL DE TORRE DE ENFRIAMIENTO [m2]
CP = 4.18 [kJ/kg-C] CALOR ESPECIFICO DEL AGUA
ρ = 1000 [kg/m3] DENSIDAD DEL AGUA
Cálculo de eficiencia de torre de enfriamiento
Ṁ = V̇ ·  $\left[ 0.0000166667 \cdot \frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{l}/\text{min}} \right] \cdot \rho$  FLUJO MÁSSICO DEL AGUA [kg/s]
Q̇_sopladora = CP · Ṁ · ( TB - TA ) CALOR EMITIDO POR SOPLADORA [kW]
Q̇_sopladora = Q̇_te CALOR ABSORVIDO POR TORRE DE ENFRIAMIENTO [kW]
Q̇_te = At · h ·  $\left[ \frac{\text{TB} - \text{Tamb}}{1000} \right]$  CÁLCULO DEL H CONVECTIVO DE TORRE DE ENFRIAMIENTO [W/m2-K]
```

Ilustración 41. Ventana de ecuaciones formateadas software EES
Fuente: Elaboración propia

Donde obtuvimos los siguientes resultados:

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

At = 8 [m ²]	CP = 4.18 [kJ/kg-C]	h = 26.79 [W/m ² -K]
\dot{M} = 0.08333 [kg/s]	$\dot{Q}_{\text{sopladora}}$ = 2.787 [kW]	\dot{Q}_{te} = 2.787 [kW]
ρ = 1000 [kg/m ³]	TA = 20 [°C]	Tamb = 15 [°C]
TB = 28 [°C]	TC = 21 [°C]	\dot{V} = 5 [l/min]

1 potential unit problem was detected.

EES suggested units (shown in purple) for Q_dot_te .

Ilustración 42. Ventana de soluciones software EES
Fuente propia

El software EES relaciona las ecuaciones colocadas en la ventana de ecuaciones y obtiene el resultado de las variables necesarias para resolver un mismo número de ecuaciones con un mismo número de variables, los resultados obtenidos, dieron un h convectivo de transferencia de calor igual a 26.79 w/m²-K, resaltado en amarillo que según tablas (YUNUS CENGEL, 2016) deben estar en un rango entre 25 – 250 (W/m² – K) para convección forzada para gases (aire).

El otro resultado importante es el calor absorbido de la sopladora igual a 2.787 kW, este calor es el limitante para poder aumentar la producción, que con la torre de enfriamiento llega a 1500 BHP (botellas por hora), más adelante veremos como con el uso del Chiller este calor absorbido se eleva, generando una mayor producción de botellas, aumentando la producción y validando la hipótesis inicial de la tesis.

Tabla 12.*Evaluación Energética de la torre de enfriamiento*

Evaluación energética de la torre de enfriamiento					
Datos iniciales					
Ítem	Variable	Nombre de la variable	Unidades	Datos	Fórmula
1	TA	Temperatura de salida de Bomba	°C	20	-
2	TB	Temperatura de salida de proceso	°C	28	-
3	TC	Temperatura de entrada a tanque	°C	21	-
4	Tamb	Temperatura ambiente	°C	15	-
5	V	Caudal del agua	L/min	5	-
6	At	Área total de torre de enfriamiento	m ²	8	-
7	CP	Calor específico del agua	kJ/kg.C	4.18	-
8	rho	Densidad del agua	kg/m ³	1000	-
9	M	Flujo másico del agua	kg/s	-	V*(L/min, m ³ /s) *p
10	Qsopladora	Calor emitido por sopladora	KW	-	CP*M*(TB-TA)
11	Qsopladora	Calor absorbido por torre de enfriamiento	KW	-	Qte
12	h	Cálculo del H Convectivo de torre de enfriamiento	W/m ² -K	-	Qte= At*h*[(TB-Tamb)/1000]

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13.*Resultados de la evaluación energética de la torre de enfriamiento*

Resultados de la evaluación energética de la torre de enfriamiento				
Ítem	Variable	Nombre de la variable	Unidades	Resultados
1	M	Flujo másico del agua	kg/s	0.08333
2	Qsopladora	Calor emitido por sopladora	KW	2.787
3	Qsopladora	Calor absorbido por torre de enfriamiento	KW	2.787
4	h	Cálculo del H Convectivo de torre de enfriamiento	W/m ² -K	26.79

Fuente: Elaboración propia

Nota: La tabla 12, muestra los resultados de la evaluación energética de la torre de enfriamiento, estos resultados son los más relevantes, y algunos serán comparados con la evaluación del Chiller y estarán comentados más adelante, el flujo másico en kg/s es la cantidad de agua que pasa por el sistema y que se enfría según convección con el medio ambiente, el calor emitido por la sopladora a una velocidad de 1500 BPH en kW, así como el calor absorbido por la sopladora que en teoría deben de ser iguales, al final se muestra el h convectivo en W/m²-K, que está dentro de los límites de convección libre y forzada presente del ambiente, en el anexo 9 se tiene detallado el cálculo donde se empleó el software EES.

- **Evaluación energética del Chiller industrial**

Para la evaluación energética del Chiller industrial, se utilizó el mismo software EES, debido a su alta facilidad de evaluar ciclos térmicos con todas las propiedades termo físicas requeridas para la evaluación del Chiller, que opera con R22 y con agua de refrigerante secundario, como sabemos se eligió un sistema de Chiller industrial con enfriamiento de aire y compresión de refrigerante convencional, utilizando una lista de exigencias según norma VDI 2221, una vez instalado con corriente trifásica 380V una línea de agua de reposición (agua tratada) para disminuir la cantidad de ppm y formación de incrustaciones en la línea de tuberías; se procedió a prender el equipo y hacer su evaluación, donde se midió el amperaje del compresor, que cuando se estabilizó tenía 5 amperios de promedio en las fases, el cos (ϕ) fue obtenido de la placa del compresor igual a 0.92, el voltaje medido fue de 380 V. para las 3 fases y la eficiencia del compresor fue obtenida en tablas (0.8) para compresores herméticos recíprocos de baja velocidad, porque carecía de información de placa.

Tabla 14.

Eficiencias para compresores de refrigeración

Compressor Type	Efficiency, η
Centrifugal	0.70 - 0.85
High Speed Reciprocating	0.72 - 0.85
Low Speed Reciprocating	0.75 - 0.90
Rotary Screw	0.65 - 0.75

Fuente: (Campbell, 2014)

La presión atmosférica en Arequipa es de 77 kPa, a una altitud aproximada de 2500 msnm. las presiones manométricas de alta y baja del sistema de refrigeración fueron de 250 psi (alta) y 50 psi (baja), así como el caudal de agua como refrigerante secundario que entra a la sopladora (3.5 l/min).

Las temperaturas fueron medidas con el pirómetro de la marca fluke 561 en las líneas de cobre del Chiller por donde pasa el refrigerante, se obtuvo temperaturas de sobrecalentamiento y subenfriamiento, para poder simular un ciclo real, dichas temperaturas alcanzaron valores de diferencia de 2°C de subenfriamiento y de 7°C en sobrecalentamiento, las temperaturas del agua de ingreso a la sopladora, se midieron con el mismo pirómetro alcanzando valores de 8 °C a la salida del Chiller y de 30 °C al ingreso y el calor específico del agua $C_p = 4.18 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$.

Con todos los datos ya mencionados, se procedió al siguiente modelo matemático:

"Balance Energético Del Enfriador Evaporativo (Chiller) Midiendo El Sobrecalentamiento Y Subenfriamiento Con Eficiencia Isoentrópica (Ciclo De 7 Puntos)".

- Marco de referencia para evaluación energética del Chiller

$P_{MIN} = 50$ [psi] presión de baja.

$P_{MAX} = 250$ [psi] presión de alta.

$P_{aqp} = 77$ [KPa] presión atmosférica de Arequipa.

$T_{sal} = 8$ [°C] temperatura de salida del tanque de agua.

$T_{ent} = 30$ [°C] temperatura de entrada al tanque de agua.

$T_{ic} = 2$ [°C] temperatura de ingreso al compresor.

$T_{sc} = 45$ [°C] temperatura de salida del condensador.

$V = 3.5$ [l/min] caudal de agua.

$CP_{H_2O} = 4.18$ [KJ/Kg] calor específico del agua.

$Volt = 380$ [V] voltaje del compresor.

$I = 5$ [A] amperaje del compresor.

$\cos(\varphi) = 0.92$ ángulo de desfase del compresor.

$N_{comp} = 0.8$ eficiencia isoentrópica del compresor sacado de

tablas.

Con el siguiente modelo matemático, combinamos la obtención del balance energético del ciclo de refrigeración de 7 puntos, donde tenemos funciones para calcular propiedades térmicas propias del software EES; el ciclo de refrigeración de 7 puntos cuenta con un sobrecalentamiento y un subenfriamiento junto con un punto 2S, que nos sirve para poder calcular el trabajo real del compresor junto con la eficiencia en tablas y así obtener la entalpía en el punto 2 (h [2]).

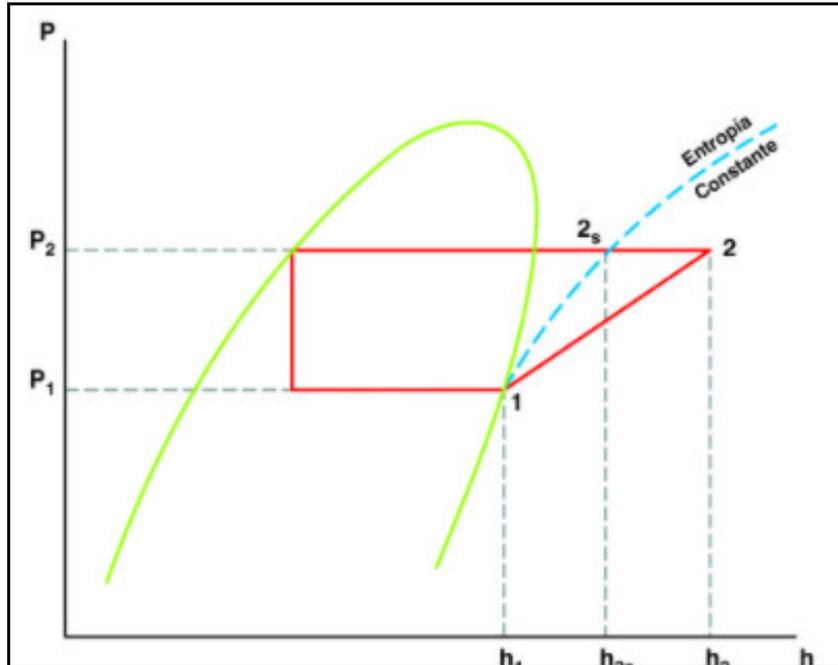


Ilustración 43. Diagrama de Molliere para la obtención del punto 2s con eficiencia isoentrópica
Fuente: Elaboración propia

Después de calcular las entalpías de los 7 puntos del ciclo, para poder obtener la potencia del compresor, usamos el amperaje promedio medido en las fases del compresor trifásico y con su voltaje el cos (phi) sabiendo que es trifásico, obtenemos la potencia del compresor, con esa potencia y con la eficiencia del compresor obtenida en tablas obtenemos el flujo másico teórico de refrigerante (kg/s) que pasa por el circuito de compresión.

Con el flujo másico de refrigerante y las entalpías del ciclo, obtenemos el efecto refrigerante (ER_dot) en kW que absorbe el ciclo de refrigeración.

Obtenemos el calor absorbido por el agua como fluido secundario en la sopladora en kW con el flujo másico de agua que entra a la sopladora y la variación de temperaturas.

Obtenemos el COP (coeficiente de performance) para el ciclo de 7 puntos

Finalmente, con el calor del evaporador en kW (efecto refrigerante) y el calor absorbido por el agua (kW) obtenemos la eficiencia del intercambiador "tanque de agua-refrigerante" en el Chiller en porcentaje (%).



Ilustración 44. Tanque de agua- refrigerante con entrada de agua y enfriamiento en funcionamiento

Fuente: Elaboración propia

"BALANCE ENERGÉTICO DEL ENFRIADOR EVAPORATIVO (CHILLER) MIDIENDO EL SOBREAQUECIMIENTO Y SUBENFRIAMIENTO CON EFICIENCIA ISOENTRÓPICA (CICLO DE 7 PUNTOS)"

"DATOS"

PMIN=50 [psi] "presión de baja"

PMAX=250 [psi] "presión de alta"

Paqp=77 [kPa] "presión atmosférica de arequipa"

Tsal= 8[°C] "temperatura de salida del tanque de agua"

Tent=30 [°C] "temperatura de entrada al tanque de agua"

T_ic=2 [°C] "temperatura de ingreso al compresor"

T_sc= 45 [°C] "temperatura de salida del condensador"

V_dot=3.5 [l/min] "caudal de agua"

CP_H2O=4.18 [kJ/kg] "calor específico del agua"

Volt=380 [V] "voltaje del compresor"

I=5 [A] "amperaje del compresor"

COS(PHI)=0.92 "angulo de desfase del compresor"

N_comp=0.8 "eficiencia del compresor sacado de tablas"

"CICLO DE REFRIGERACIÓN USANDO R22"

"PUNTO 6"

P[6]=PMIN*Convert(psi,kPa)+Paqp "presión absoluta salida del evaporador [kPa]"

T[6]=T_sat(R22,P=P[6]) "temperatura de salida del evaporador [°C]"

H[6]=enthalpy(R22,P=P[6],X=1) "entalpia de salida del evaporador [kJ/kg]"

"PUNTO 1"

P[6]=P[1] "presión del punto 1 [kPa]"

T[1]=T_ic "temperatura del punto 1 [°C]"

H[1]=enthalpy(r22,p=p[6],t=t[1]) "entalpia del punto 1 [kJ/kg]"

S[1]=entropy(r22,p=p[6],t=t[1]) "entroia del punto 1 [kJ/kg-K]"

V[1]=VOLUME(R22,p=p[6],t=t[1]) "volumen específico entrada del compresor [m3/kg]"

"PUNTO 2S"

P2S=PMAX*CONVERT(psi,kPa)+Paqp "presión absoluta de entrada del condensador [kPa]"

S2S=S[1] "entropia del punto 2s [kJ/kg-K]"

H2S=ENTHALPY(R22,P=P2S,S=S2S) "entalia del punto 2s [kJ/kg]"

"PUNTO 2"

N_comp=(H2S-H[1])/(H[2]-H[1])"eficiencia isoentrópica del compresor [-]"

Ilustración 45. Ventana de ecuaciones software EES, cálculo del Chiller- parte 1

Fuente: Elaboración propia

```

"PUNTO 3"
P[3]=P2S "Presión del punto 3 [kPa]"
H[3]=ENTHALPY(R22,P=P[3],X=0) "entalpia del punto 3 [kJ/kg]"
T[3]=T_SAT(R22,P=P[3]) "temperatura del punto 3 [°C]"
"PUNTO 4"
T[4]=T_SC "temperatura del punto 4 [°C]"
P[4]=P[3] "presión del punto 4 [kPa]"
H[4]=ENTHALPY(R22,P=P[4],T=T[4]) "entalpia del punto 4 [kJ/kg]"
"PUNTO 5"
P[5]=P[6] "presión del punto 5 [kPa]"
H[5]=H[4] "entalpia del punto 5 [kJ/kg]"
"POTENCIA DEL COMPRESOR"
WC_dot_1=Volt*cos(phi)*sqrt(3)/1000 "potencia activa del compresor con medidas electricas [kW]"
WC_dot_2=M_dot*(H[2]-H[1]) "potencia del compresor por flujo de refrigerante [kW]"
N_comp=WC_dot_2/WC_dot_1 "eficiencia del compresor según tablas"
"CÁLCULO DEL COP"
ER_dot=(H[6]-H[5])*M_dot "efecto refrigerante del evaporador en [kW]"
COP=ER_dot/WC_dot_1 "Coeficiente de performance [-]"
"CÁLCULO DE CALOR CEDIDO AL AGUA DE REFRIGERACIÓN"
QH2O_DOT=V_dot*CONVERT(L/MIN,M3/S)*1000*CP_H2O*(Tent-Tsal) "[kW]"
"EFICIENCIA DEL INTERCAMBIADOR TANQUE DE AGUA-REFRIGERANTE"
N_IC=(QH2O_DOT/ER_dot)*100 "[%]"

```

Ilustración 46. Ventana de ecuaciones software EES, cálculo del Chiller- parte 2

Fuente: Elaboración propia

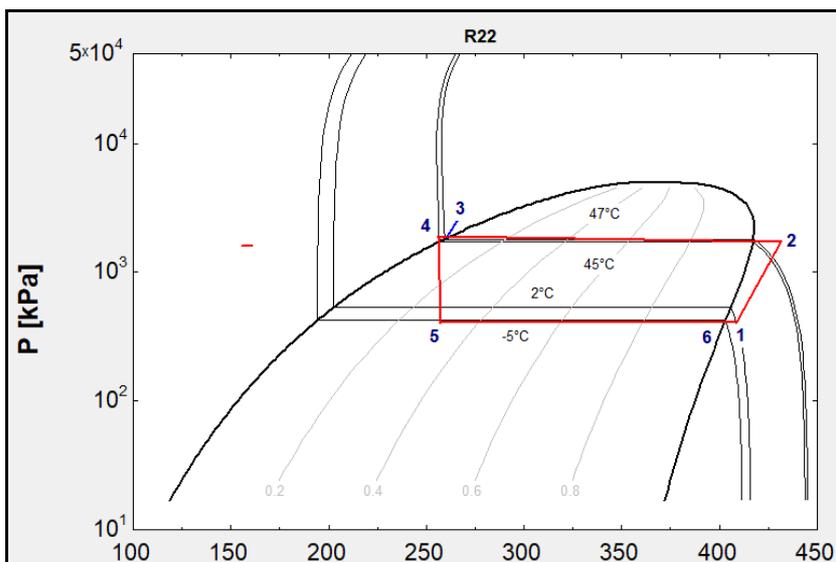


Ilustración 47. Diagrama de Mollier con el ciclo de 6 puntos efectuado en EES

Fuente: Elaboración propia

Nota: la figura explica el diagrama de Mollier con 6 puntos sin indicar el punto 2s que se usó para el cálculo de la entalpía h [2], con la eficiencia obtenida en tablas del compresor.

BALANCE ENERGÉTICO DEL ENFRIADOR EVAPORATIVO (CHILLER) MIDIENDO EL SOBRECALENTAMIENTO Y SUBENFRÍAMIENTO CON EFICIENCIA ISOENTRÓPICA (CICLO DE 7 PUNTOS)

DATOS

$P_{MIN} = 50$ [psi] presión de baja
 $P_{MAX} = 250$ [psi] presión de alta
 $P_{aqp} = 77$ [kPa] presión atmosférica de arequipa
 $T_{sal} = 8$ [°C] temperatura de salida del tanque de agua
 $T_{ent} = 30$ [°C] temperatura de entrada al tanque de agua
 $T_{ic} = 2$ [°C] temperatura de ingreso al compresor
 $T_{sc} = 45$ [°C] temperatura de salida del condensador
 $\dot{V} = 3.5$ [l/min] caudal de agua
 $CP_{H_2O} = 4.18$ [kJ/kg] calor específico del agua
 $Volt = 380$ [V] voltaje del compresor
 $I = 5$ [A] amperaje del compresor
 $\cos(\phi) = 0.92$ ángulo de desfase del compresor
 $N_{comp} = 0.8$ eficiencia del compresor sacado de tablas

CICLO DE REFRIGERACIÓN USANDO R22

PUNTO 6

$$P_6 = P_{MIN} \cdot \left| 6.895 \cdot \frac{kPa}{psi} \right| + P_{aqp} \text{ presión absoluta salida del evaporador [kPa]}$$

Ilustración 48. Ventana de ecuaciones formateadas software EES, cálculo del Chiller – parte 1

Fuente: Elaboración propia

$$T_6 = T_{sat}(R22, P = P_6) \text{ temperatura de salida del evaporador [°C]}$$

$$H_6 = h(R22, P = P_6, x = 1) \text{ entalpía de salida del evaporador [kJ/kg]}$$

PUNTO 1

$$P_6 = P_1 \text{ presión del punto 1 [kPa]}$$

$$T_1 = T_{ic} \text{ temperatura del punto 1 [°C]}$$

$$H_1 = h(R22, P = P_6, T = T_1) \text{ entalpía del punto 1 [kJ/kg]}$$

$$S_1 = s(R22, P = P_6, T = T_1) \text{ entropía del punto 1 [kJ/kg-K]}$$

$$V_1 = v(R22, P = P_6, T = T_1) \text{ volumen específico entrada del compresor [m3/kg]}$$

PUNTO 2S

$$P_{2S} = P_{MAX} \cdot \left| 6.895 \cdot \frac{kPa}{psi} \right| + P_{aqp} \text{ presión absoluta de entrada del condensador [kPa]}$$

$$S_{2S} = S_1 \text{ entropía del punto 2s [kJ/kg-K]}$$

$$H_{2S} = h(R22, P = P_{2S}, s = S_{2S}) \text{ entalpía del punto 2s [kJ/kg]}$$

PUNTO 2

$$N_{comp} = \frac{H_{2S} - H_1}{H_2 - H_1} \text{ eficiencia isoentrópica del compresor [-]}$$

PUNTO 3

$$P_3 = P_{2S} \text{ Presión del punto 3 [kPa]}$$

$$H_3 = h(R22, P = P_3, x = 0) \text{ entalpía del punto 3 [kJ/kg]}$$

$$T_3 = T_{sat}(R22, P = P_3) \text{ temperatura del punto 3 [°C]}$$

Ilustración 49. Ventana de ecuaciones formateadas software EES, cálculo del Chiller – parte 2

Fuente: Elaboración propia

```

PUNTO 4
T4 = Tsc temperatura del punto 4 [°C]
P4 = P3 presion del punto 4 [kPa]
H4 = h (R22 , P = P4 , T = T4) entalpia del punto 4 [kJ/kg]

PUNTO 5
P5 = P6 presion del punto 5 [kPa]
H5 = H4 entalpia del punto 5 [kJ/kg]

POTENCIA DEL COMPRESOR
WC1 = Volt · I · cos ( Φ ) ·  $\frac{\sqrt{3}}{1000}$  potencia activa del compresor con medidas electricas [kW]
WC2 = M · ( H2 - H1 ) potencia del compresor por flujo de refrigerante [kW]
Ncomp =  $\frac{WC2}{WC1}$  eficiencia del compresor según tablas

CALOR ABSORVIDO EN EL EVAPORADOR
ER = ( H6 - H5 ) · M efecto refrigerante del evaporador en [kW]

CÁLCULO DEL COP
COP =  $\frac{ER}{WC1}$  Coeficiente de performance [-]

CÁLCULO DE CALOR CEDIDO AL AGUA DE REFRIGERACIÓN
QH2O = V ·  $\left| 0.0000166667 \cdot \frac{m^3/s}{l/min} \right| \cdot 1000 \cdot CP_{H2O} \cdot (Tent - Tsal)$  [kW]

EFICIENCIA DEL INTERCAMBIADOR TANQUE DE AGUA-REFRIGERANTE
N1c =  $\frac{QH2O}{ER} \cdot 100$  [%]

```

Ilustración 50. Ventana de ecuaciones formateadas software EES, cálculo del Chiller – parte 3
Fuente: Elaboración propia.

Con las ecuaciones colocadas en la ventana de ecuaciones, validando la calidad de ecuaciones y variables, obtuvimos un cálculo de 40 ecuaciones con 40 variables, incluidas ecuaciones con funciones termo físicas, ya que la licencia nos permite un máximo de 50, por ser una versión demo, conseguimos obtener los resultados del cálculo sin el uso de tablas termodinámicas ni formatear las ecuaciones con un cálculo manual.

Los resultados fueron:

Tabla 15.

Tabla de valores de propiedades termodinámicas del ciclo obtenidas en EES

Ítem	P _i [kPa]	T _i [°C]	H _i [kJ/kg]	S _i [Kj/kg-K]	V _i [m ³ /kg]
[1]	421.7	2	408.1	1.776	0.05732
[2]	-	-	255.6	-	-
[3]	1801	46.71	258.9	-	-
[4]	1801	45	256.5	-	-
[5]	421.7		256.5	-	-
[6]	421.7	-5.013	403.1	-	-

Fuente: Elaboración propia

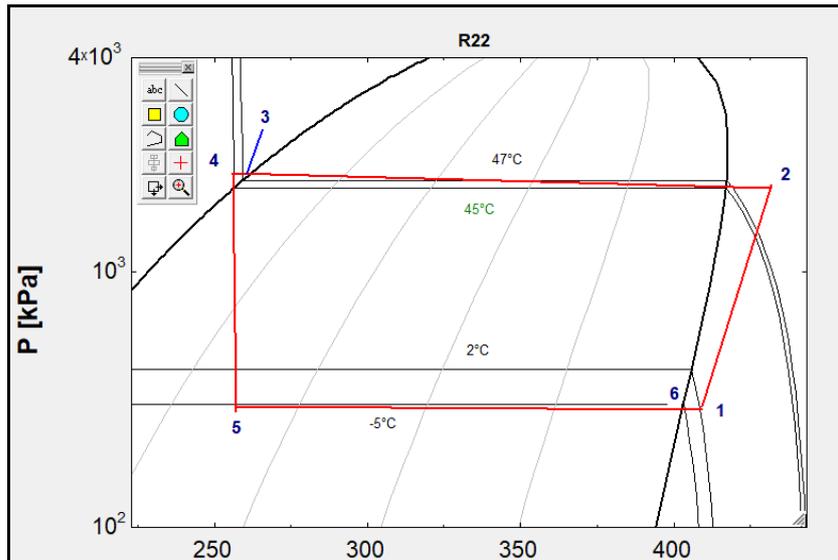


Ilustración 51. Diagrama de Molliere con zoom, obtenido en EES para un ciclo de 6 puntos de refrigeración

Fuente: Elaboración propia

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

COP = 2.468 [-]	CP _{H2O} = 4.18 [kJ/kg]	ÉR = 7.472 [kW]	H2S = 446.1 [kJ/kg]
I = 5 [A]	Ḣ = 0.05098 [kg/s]	N _{comp} = 0.8 [-]	N _{ic} = 71.79 [%]
P2S = 1801 [kPa]	Paqp = 77 [kPa]	Φ = 23.07 [°]	P _{MAX} = 250 [psi]
P _{MIN} = 50 [psi]	QH _{2O} = 5.364 [kW]	S2S = 1.776 [kJ/kg-K]	T _{ent} = 30 [°C]
T _{sal} = 8 [°C]	T _{ic} = 2 [°C]	T _{sc} = 45 [°C]	Volt = 380 [V]
Ṡ = 3.5 [l/min]	ḠC ₁ = 3.028 [kW]	ḠC ₂ = 2.422 [kW]	

[Click on this line to see the array variables in the Arrays Table window](#)

3 potential unit problems were detected.

Ilustración 52. Ventana de soluciones software EES, cálculo de Chiller

Fuente: Elaboración propia

Los resultados relevantes del cálculo térmico-energético demuestran que el COP tiene un promedio de 2.5, el calor absorbido por el agua de enfriamiento es de 5.4 kW y la eficiencia del intercambiador de tanque de agua – refrigerante es de 72%.

Tabla 16.*Evaluación Energética del Chiller.*

Evaluación Energética del Chiller					
Datos iniciales					
Ítem	Variable	Nombre de la variable	Unidades	Datos	Fórmula
1	PMIN	Presión de baja	Psi	50	-
2	PMAX	Presión de alta	Psi	250	-
3	Paqp	Presión atmosférica de Arequipa	kPa	77	-
4	Tsal	Temperatura de salida del tanque de agua	°C	8	-
5	Tent	Temperatura de entrada del tanque de agua	°C	30	-
6	Tic	Temperatura de ingreso al compresor	°C	2	-
7	Tsc	Temperatura de salida del condensador	°C	45	-
8	V	Caudal del agua	L/min	3.5	-
9	CPH2O	Calor específico del agua	kJ/kg	4.18	-
10	Volt	Voltaje del compresor	V	380	-
11	I	Amperaje del compresor	A	5	-
12	cos(φ)	Coseno del ángulo de desfase del compresor	-	0.92	-
13	Ncomp	Eficiencia del compresor (obtenido de tablas)	-	0.8	-
14	P6	Presión absoluta salida del evaporador	kPa	-	$PMIN*(6.895*kPa/psi) + Paqp$
15	T6	Temperatura de salida del evaporador	°C	-	Tsal (R22, P=P6)
16	H6	Entalpía de salida del evaporador	kJ/kg	-	h (R22, P=P6, X=1)
17	P1	Presión del punto 1	kPa	-	P1=P6
18	T1	Temperatura del punto 1	°C	-	T1=Tic
19	H1	Entalpía del punto 1	kJ/kg	-	h (R22, P=P6, T=T1)
20	S1	Entropía del punto 1	kJ/kg -K	-	s (R22, P=P6, T=T1)
21	V1	Volumen específico-entrada del compresor	m ³ /kg	-	v (R22, P=P6, T=T1)

23	P2S	Presión absoluta de entrada del condensador	kPa	-	$P_{MAX}*(6.895*kPa/psi) + Pa_{qp}$
24	S2S	Entropía del punto 2s	kJ/kg-K	-	$S2S=S1$
25	H2S	Entalpía del punto 2S	kJ/kg	-	$h (R22, P=P2S, s=S2S)$
26	Ncomp	Eficiencia isoentrópica del compresor	-	-	$[(H2S-H1) / (H2-H1)]$
27	P3	Presión del punto 3	kPa	-	$P3=P2S$
28	H3	Entalpía del punto 3	KJ/Kg	-	$h (R22, P=P3, X=0)$
29	T3	Temperatura del punto 3	°C	-	$T_{sat} (R22, P=P3)$
30	T4	Temperatura del punto 4	°C	-	$T4=T_{sc}$
31	P4	Presión del punto 4	kPa	-	$P4=P3$
32	H4	Entalpía del punto 4	KJ/Kg	-	$h (R 22, P=P4, T=T4)$
33	P5	Presión del punto 5	kPa	-	$P5=P6$
34	H5	Entalpía del punto 5	KJ/Kg	-	$H5=H4$
35	WC1	Potencia activa del compresor con medidas eléctricas	KW	-	$[Volt*1*cos(\phi)*(\sqrt{3}/1000)]$
36	WC2	Potencia del compresor según tablas	KW	-	$M*(H2-H1)$
37	Ncomp	Eficiencia del compresor según tablas	-	-	$WC2/WC1$
38	ER	Efecto refrigerante del evaporador	kW	-	$(H6-H5) *M$
39	COP	Coeficiente del performance	-	-	$ER/WC1$
40	QH2O	Calor cedido al agua de refrigeración	KW	-	$V*[0.0000166667*(m^3/s) / (L/min)]*1000*CP_{H2O}*(T_{ent}-T_{sal})$
41	Nic	Eficiencia del intercambiador tanque de agua de refrigeración	%	-	$(QH2O/ER) *100$
42	M	Flujo másico del agua	kg/s	-	$3.5*(1/min) *(1m^3/1000l) *(1min/60s) *(1000kg/m^3)$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17.*Resultados de la evaluación energética del Chiller.*

Resultados de la evaluación energética del Chiller				
Ítem	Variable	Nombre de la variable	Unidades	Resultados
1	COP	Coeficiente del performance	-	2.468
2	M	Flujo másico del agua	kg/s	0.0583
3	M	Flujo másico del refrigerante	kg/s	0.05098
4	QH20	Calor cedido al agua de refrigeración	kW	5.364
5	WC1	Potencia activa del compresor con medidas eléctricas	kW	3.028
6	Ncomp	Eficiencia isoentrópica del compresor	-	0.8
7	φ	Ángulo de desfase del compresor	°	23.07
8	S2S	Entropía del punto 2s	kJ/kg-K	1.776
9	WC2	Potencia del compresor según tablas	KW	2.422
10	H2S	Entalpía del punto 2S	kJ/kg	446.1
11	Nic	Eficiencia del intercambiador tanque de agua de refrigeración	%	71.79

Fuente: Elaboración propia

Nota: En la tabla 16 se tiene detallado los resultados de la evaluación energética del Chiller, donde es prioritario el resultado de flujo másico de agua (kg/s) y el calor absorbido por el sistema de enfriamiento (Chiller) en kW, ambos resultados se compararán junto con la producción en BPH (botellas por hora) para verificar la mejora de la producción junto con las evaluaciones energéticas y de flujo de agua de enfriamiento, dichas comparaciones se darán más adelante en los resultados finales del capítulo, de la misma forma los detalles del cálculo energético efectuados en el software EES están detallados en el anexo 10.

4.2 PRUEBA DE HIPÓTESIS

En la hipótesis se tenía que levantar información acerca de la máquina ECENG Q6000 específicamente neumática y de control, que quedó demostrada en el capítulo de unidad de investigación, con los datos obtenidos del proceso y gráficos de sistemas neumáticos complejos y de control con las que trabaja la máquina sopladora.

En el capítulo III en diseño de la investigación, utilizamos la metodología VDI 2221 con una lista de exigencias y selección de un sistema de Chiller para seleccionar un Chiller industrial como indica inicialmente la hipótesis de proyecto de investigación.

Se realizó una memoria de cálculo con ayuda de un software Solver para obtener el consumo energético de los 2 sistemas (Torre y Chiller), midiendo parámetros de campo para su comparación en las conclusiones y discusiones de resultados.

Se verificó la evaluación técnica y económica para la mejora de la producción y se verificó visual y presencialmente el aumento de producción de 1500 BPH a 3500 BPH.

Finalizando el siguiente trabajo se procedió a entregar el documento a la empresa ENVASADORA MAJES, para su evaluación y aprobación para poder ser presentado como tesis de grado en la Universidad Continental de la Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica.

En los anexos podemos encontrar algunos documentos técnicos generados, como planos memorias de cálculo y planes de mantenimiento.

Tabla 18.

Comparación de resultados.

Comparación de resultados		
Variable	Torre de enfriamiento	Chiller
Flujo másico del agua (kg/s)	0.08333	0.0583
Calor absorbido por el sistema (kW)	2.787	5.364
Producción (BPH)	1500	3500

Fuente: Elaboración propia

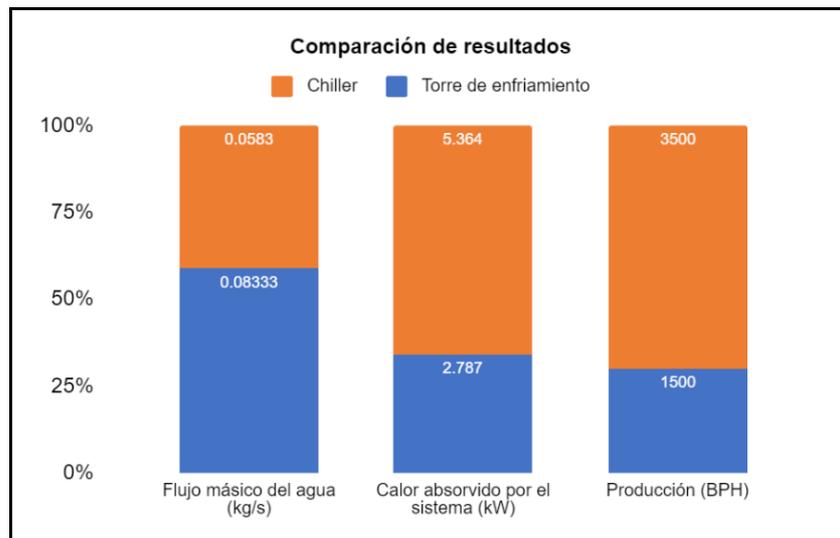


Ilustración 53. Gráfico de barras de la comparación de resultados.

Fuente: Elaboración propia

4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para discutir sobre resultados obtenidos, tenemos que resaltar que, para la hipótesis inicial, se debía hacer una evaluación energética de los sistemas de enfriamiento, con la incertidumbre de desconocer las capacidades de los dos sistemas al inicio.

Una vez realizado el levantamiento de datos, se comprobó que la torre de enfriamiento tiene menos capacidad de enfriamiento (kW) que la de un Chiller, aproximadamente el Chiller tiene el doble de capacidad de enfriamiento (200%), pero el consumo de energía eléctrica (amperios) del Chiller es 4 veces más que la de la torre de enfriamiento (400%), eso es debido a que la torre solo tiene una bomba de agua tratada, mientras el Chiller tiene una bomba y un compresor hermético.

Con respecto al levantamiento de información del sistema neumático y de control de la ECENG Q6000, se detectó un sistema complejo de tiempos y secuencias controlados por un PLC Mitsubishi de tercera generación, acopladas a variadores de velocidad, relés, contactores, mandos finales y de carrera, donde se generó un documento técnico de mantenimiento por componentes para el área de mantenimiento,

Como era de esperar, aumentó la producción de botellas PET de 500 ml., debido al aumento de capacidad de enfriamiento, disminuyeron las mermas y las paradas de mantenimiento correctivo, pero aumentó una maquinaria que consume más energía eléctrica que la anterior máquina de enfriamiento y genera atención de mantenimiento.

La metodología de selección del equipo se dio basándose en la norma VDI 2221 de diseño, se pudo comprar directamente un Chiller con esas especificaciones, pero la metodología quedó demostrada como correcta al hacer la evaluación técnico económica del capítulo II.

Algunos documentos técnicos fueron entregados al área de mantenimiento, para ser aplicados a su sistema de gestión de mantenimiento.

CONCLUSIONES

1. Se seleccionó adecuadamente un Chiller de agua industrial, usando una metodología para la selección de un Chiller industrial de 3 TR (10.5 kW) según norma VDI 2221 y se validó la compra efectuada, para su correcta selección, se tomó datos de campo y se realizó una evaluación energética, para no subdimensionar el Chiller industrial y aumentar la producción.
2. Se verificó la correcta instalación del sistema hidráulico y eléctrico del Chiller, para la instalación del Chiller industrial, los pasos a seguir fueron con la supervisión de los encargados de planta, jefe de operaciones, jefe de mantenimiento y gerencia levantando así todo tipo de observación y que la instalación no se vea afectada ni retrasada.
3. Se verificó el sistema de control del Chiller, se ensayó con el Chiller industrial, junto con un aumento gradual de producción, midiendo parámetros y evaluando la capacidad energética de su funcionamiento en campo. La evaluación generó un ciclo real con 6 puntos, midiendo el subenfriamiento y sobrecalentamiento junto con la eficiencia isoentrópica del compresor de 0.8, el COP (coeficiente de performance) del sistema de refrigeración con R22 fue igual a 2.46 el efecto refrigerante en el evaporador fue de 7.47 kW , que corresponde al 70% de capacidad del Chiller de 3 TR (10.5 kW), la eficiencia del intercambiador de calor del tanque de agua – refrigerante fue de 71.8% y el calor disipado al agua fue de 5.37 kW; aumentando la disipación calorífica utilizando agua fría a 8 °C, por lo que se consiguió aumentar la producción a 3500 BPH, el cual era el objetivo principal de la investigación.
4. Se puso a prueba el conjunto de máquina sopladora junto con el Chiller y se verificó su adecuada operación (anexo 16), con el aumento de producción a 3500 botellas por hora de medio litro para preformas PET de 14.5 gramos, elevando su producción en un 130%; así mismo se comparó las disipaciones térmicas con la torre de enfriamiento que disipaba 2.8 kW se producía 1500 BPH y con el Chiller industrial, trabajando con una disipación de 5.37 kW se producen 3500 BPH y se logró una capacidad instalada alta para la maquinaria en estudio.
5. Se generó toda una memoria de cálculo, para obtener los resultados expuestos utilizando conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera en el área térmica, de fluidos, neumática y de gestión de mantenimiento y se levantó la información documentaria técnica y económica de la tesis para ser entregados a gerencia; la presente investigación no generó datos financieros y costos de producción; por ser

política de la empresa, solo mostramos el contenido técnico de la innovación. Los documentos técnicos están expuestos en los anexos, tales como planos de distribución de compresoras de alta (Anexo 4), plano de distribución de línea, junto con la sopladora (Anexo 5), un plan de mantenimiento del Chiller (Anexo 2), un manual de operación básico (Anexo 6) que se colocó cerca del área de operación, se generaron planes de capacitación para futuros operadores con evaluaciones básicas e intermedias de operación (Anexo 7 y 8), así como las señalizaciones de seguridad dentro del área de producción (Anexo 3).

6. Al utilizar equipos de segundo uso tanto del chiller como de la máquina sopladora, no se ha determinado una evaluación económica entre los costos de mantenimiento y la pérdida de producción por planta parada, debido a que la empresa no brinda los costos de mantenimiento ni de producción porque este es confidencial y se ampara en ello, por eso, la investigación se enfocó en la parte técnica de la selección de un chiller adecuado.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda gestionar PETS de operación para la sopladora, debido a que el cambio de molde y puesta en marcha genera alto riesgo en la matriz del IPERC de la sopladora.
2. Se recomienda la actualización de datos de componentes y repuestos para la sopladora debido a que la mayoría son repuestos de importación.
3. Se recomienda levantar un plan de mantenimiento para el Chiller instalado y un proceso de evaluación de funcionamiento, para evitar problemas futuros de mantenimiento.
4. Es necesario un estudio financiero de costos de la instalación y costos de producción para corroborar la disminución de los mismos.
5. Es necesario un estudio de tiempos de producción y paradas de mantenimiento, porque el chiller, y la máquina sopladora Q6000 son de segundo uso, ya que no sabemos en qué punto de la vida útil del equipo están ambos.
6. Se recomienda la instalación de un sistema de salida de aire caliente que generan los hornos de calentamiento de preformas, para mantener una temperatura constante en los condensadores del Chiller
7. Hacer una evaluación energética y medida del COP del Chiller anual, para verificar su disponibilidad y buen performance.

BIBLIOGRAFÍA

- ARAPACK. ¿Que es el Pet?. 31 de enero de 2018. Disponible en:
<https://www.arapack.com/faq/que-es-el-pet/>
- ARTEPLÁSTICA. El plástico PET, ¿Para qué se usa?. (20 de mayo de 2017). Disponible en: <https://arteplastica.es/el-plastico-pet-para-que-se-usa/>
- BELTRÁN, M., & MARCILLA, A. (22 de marzo de 2012). Extrusión - soplado. Tecnología de los Plásticos. 22 de marzo de 2012. Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/03/extrusion-soplado.html>
- BOLES, M. & CENGEL, Y. Termodinámica. 7ma. Ed. Madrid: McGraw-Hill. McGraw-Hill Higher Education. 2012.
- CACHAGO, M. Diseño y construcción de un sistema de refrigeración didáctico para enfriamiento de agua (chiller). Tesis (Título de Tecnólogo en Electromecánica). Quito: Escuela Politécnica Nacional. 2020, 67 pp. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21088/1/CD%2010599.pdf>
- CAMEY, B. Diseño de la instalación de un nuevo equipo tipo chiller para el sistema de distribución de agua de enfriamiento en moldes de soplado e inyección, para la empresa polindustrias S.A. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. 2017, 164 pp. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/7840/1/Byron%20Ariel%20Camey%20Hern%20C3%A1ndez.pdf>
- CAMPBELL, J. M. ¿Como Estimar la Eficiencia de Compresión?. PetroSkills. 2014
Disponible en: <http://www.jmcampbell.com/tip-of-the-month/spanish/?p=1588>
- CENGEL, A., & J. GHAJAR, A. Transferencia de Calor y Masa. 4.a ed., McGrawHill. 2011. ISBN: 978-607-15-0540-8. Disponible en: <https://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2019/06/Transferencia-de-calor-y-masa.-Fundamentos-y-aplicaciones-Cuarta-Edici%C3%B3n.pdf>
- CONFOREMPRESARIAL. Partes de un Chiller. 2020. Disponible en: <https://www.conforempresarial.com/partes-de-un-chiller/>
- DICTER S.A. (2020). PET. <http://www.dicterecuador.com/pet.html>
- ECOGREEN & ECOCHILLERS. Chillers York. 2020. Disponible: https://ecochillers.net/chillers-york.html?gclid=CjwKCAiA_eb-BRB2EiwAGBnXXhQ6abG8sV2zl4Hpf_xAzHMqYY9nGHOA2rA_n1PePNdwwKfASJW9ZxoCsLIQAvD_BwE

ECOGREEN & ECOCHILLERS. Disponible en: https://ecochillers.net/chillers-york.html?gclid=CjwKCAiA_eb-BRB2EiwAGBnXXhQ6abG8sV2zl4Hpf_xAzHMqYY9nGHOA2rA_n1PePNdwwKfASJW9ZxoCsLIQAvD_BwE

FluidSIM® 5 - FluidSIM® - Software & E-Learning - Productos - Festo Didactic. (2020). Festo-didactic.com [online].

GONZÁLEZ, J., BALLESTEROS, R. y PARRONDO, L. Problemas de oleohidráulica y neumática. Oviedo: Ediciones de la Universidad de Oviedo. 2005.

GESTIÓN DE COMPRAS INDUSTRIAL SOURCING. Empresa. Disponible en: <https://www.gestiondecompras.com/es/empresa>

HERNÁNDEZ, I. Transferencia de Calor: Convección. (1 de enero de 2012). Disponible en: <https://termoaplicadaunefm.files.wordpress.com/2012/01/clase-de-conveccion1.pdf>

HERNÁNDEZ, M. (2012). Análisis y solución de los defectos de la preforma PET (punto de inyección descentrado y hombro grueso) en la botella de tres litros de bebidas carbonatadas en la Embotelladora Nacional S.A. durante el periodo de Octubre a Diciembre del año 2011. Tesis (Licenciado en Química). Managua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, 2012. 61. pp. Disponible en: <https://repositorio.unan.edu.ni/14/1/4129.pdf>

HERREO, M. (2019). Chillers situación actual y tendencias. PROInstalaciones, 10-11.

IZARO MANUFACTURING TECNOLOGIC. Método para inyección y soplado todo en uno. 08 de octubre de 2012. Disponible en: <https://www.izaro.com/metodo-para-inyeccion-y-soplado-todo-en-uno/c-1349695227/>

BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ. AREQUIPA: Síntesis de Actividad Económica, Febrero 2019. Disponible en: <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Arequipa/2019/sintesis-arequipa-02-2019.pdf>

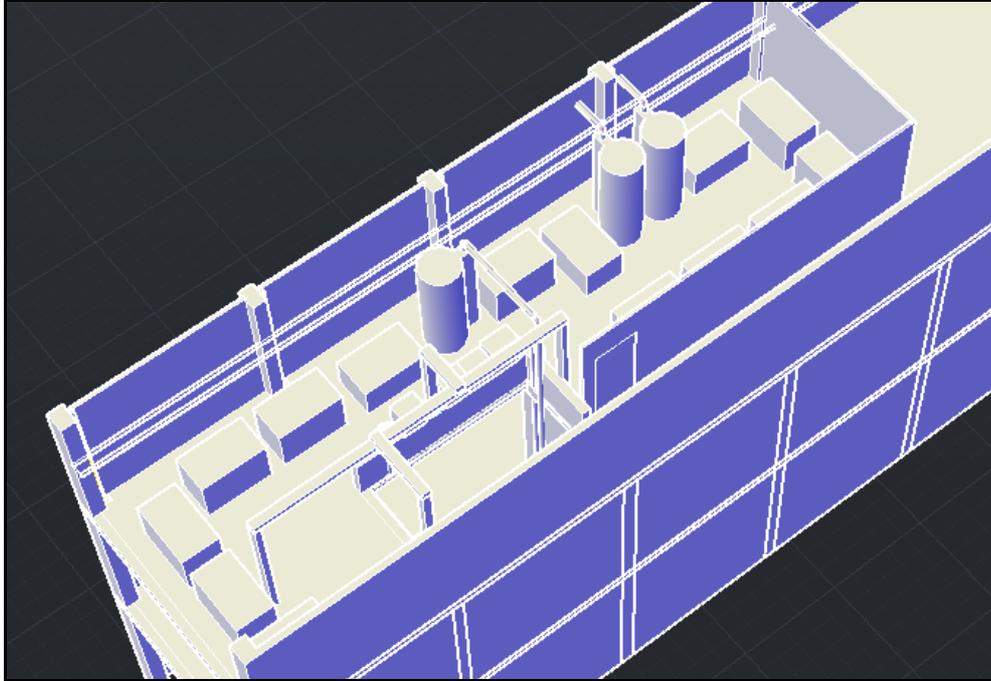
MAQUINARIA, ECENG. Máquina Automática de Moldeo Por Soplado de PET Lineal: Fabricante De Máquinas Sopladoras De Botellas De PET Para Bebidas Q6000. [Fecha de consulta: 13 de junio de 2020]. Disponible en: <http://es.eceng-petbottlemachine.com/pet-blowing-machine/automatic-linear-pet-blow-molding-machine/q6000.html>

MARCILLA, & BELTRÁN. Inyección - soplado. Tecnología de los Plásticos. 26 marzo de 2012. Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/03/inyeccion-soplado.html>

- MENDOCILLA, A. Mejora del enfriamiento de tubos PVC por agua mediante el cambio de torre por chiller refrigerante en Empresa Tuplast Trujillo para satisfacer la demanda térmica. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Trujillo: Universidad Cesar Vallejo. 2018, 127 pp. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/27346/mendocilla_da.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- MOTAN COLORTRONIC. Moldeo por Soplado. 2020. Disponible en: <https://www.motan-colortronic.com/es/segmentos-del-mercado/moldeo-por-soplado.html>
- PÉREZ, J. Conceptos Básicos de termodinámica. García Maroto Editores. 2019. ISBN9788417969110. Disponible en: <https://www.agapea.com/libros/Conceptos-basicos-de-termodinamica-9788417969110-i.htm>
- REVISTA CERO GRADOS. Chillers, aspectos técnicos. 2017. Disponible en: <https://0grados.com.mx/chillers-aspectos-tecnicos/>
- RICO, M., & GOMIS, A. Tecnología de los polímeros. España: Universidad Alicante. 2012.
- RUDAS, C., Diseño de un sistema mecatrónico para la selección de arándanos. Tesis (Magister en Ingeniería Mecatrónica). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. 2015, 82 pp. Disponible en: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6991/RUDAS_CARLOS_DISE%c3%91O_MECATR%c3%93NICO_AR%c3%81NDANOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- SÁNCHEZ, L. S. Los plásticos y el Medio Ambiente. Colombia: Trilla. 2015
- TODO EN POLÍMEROS. Extrusión Soplado. 22 de Mayo de 2017. Disponible en: <https://todoenpolimeros.com/2017/05/22/extrusion-soplado/>
- UNIDAD GENERADORA DE AGUA HELADA SKYCHILLERS. Manual de Operación. México: Skychillers. 2014. pp.5-27. Disponible en: <https://manualzz.com/doc/5352227/manual-de-operacion>
- ZHANGJIAGANG ECENG. (16 de Junio de 2020). Maquinaria Co., Ltd. Disponible en: <https://www.eceng-petblowing.com/about-us>

ANEXOS

Anexo 1. Vista Isométrica de la Instalación de Compresores de Alta para Alimentación De Sopladora



Anexo 2. Plan de Mantenimiento de la Sopladora

PLAN DE MANTENIMIENTO - ENVASADORA MAJES 2019

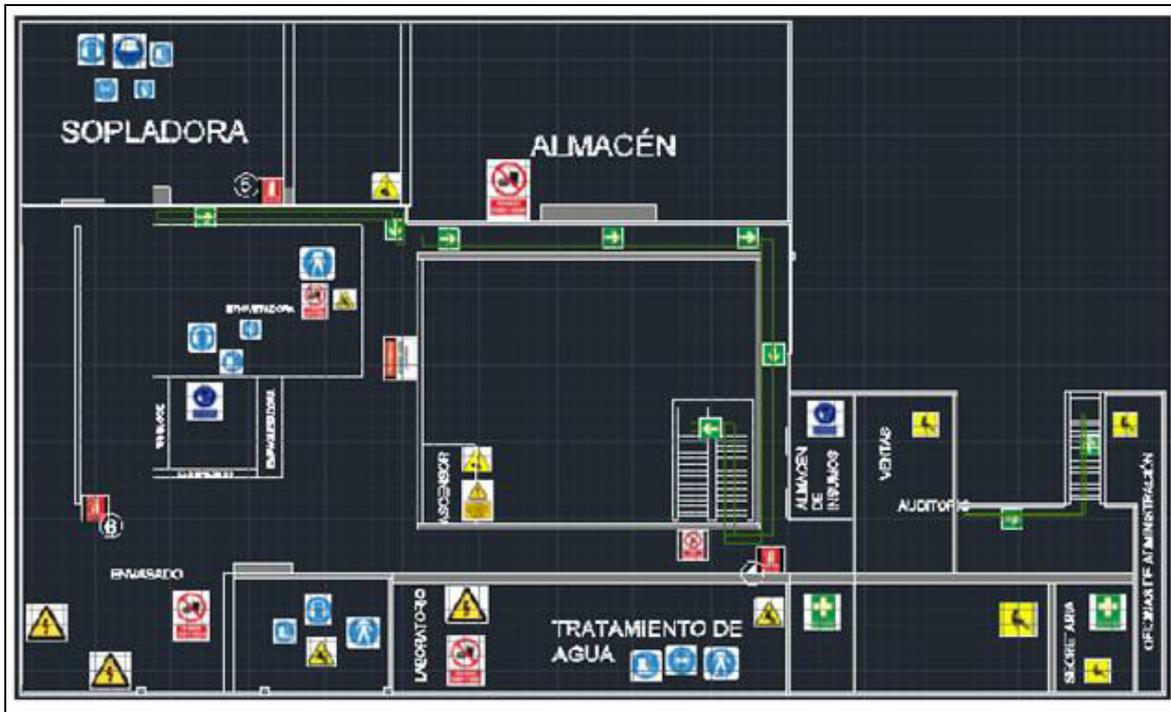
		Revisión																																																		
		Elaborado																																																		
		Revisado																																																		
		Aprobado																																																		
		Opción Manto																																																		
		Jefe de Manto																																																		
		Gerencia																																																		
MES																																																				
SEMANA																																																				
Sistema																																																				
		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICEMBRE																																							
		07.AN.07	14.AN.07	21.AN.07	28.AN.07	05.FEB.08	12.FEB.08	19.FEB.08	26.FEB.08	05.MAR.08	12.MAR.08	19.MAR.08	26.MAR.08	02.ABR.08	09.ABR.08	16.ABR.08	23.ABR.08	30.ABR.08	07.MAY.08	14.MAY.08	21.MAY.08	28.MAY.08	04.JUN.08	11.JUN.08	18.JUN.08	25.JUN.08	02.JUL.08	09.JUL.08	16.JUL.08	23.JUL.08	30.JUL.08	06.AGO.08	13.AGO.08	20.AGO.08	27.AGO.08	03.SEP.08	10.SEP.08	17.SEP.08	24.SEP.08	01.OCT.08	08.OCT.08	15.OCT.08	22.OCT.08	29.OCT.08	05.NOV.08	12.NOV.08	19.NOV.08	26.NOV.08	03.DIC.08	10.DIC.08	17.DIC.08	24.DIC.08
Equipo	Tarea																																																			
SPL-01	RZ	Tabla																																																		
SPL-01	RZ	Faja transportadora de preformas																																																		
SPL-01	RM	Motorreductor de 1/2 CV (200 W)																																																		
SPL-01	RD	Reductores del motorreductor																																																		
SPL-01	RI	Piñón y cadena																																																		
SPL-01	RZ	Rodillos selectores de preformas (2 Pn)																																																		
SPL-01	RM	Motor reductor de rodillos selectores de preformas																																																		
SPL-01	RC	Sensor óptico de retroreflexión																																																		
SPL-01	RM	Actuador de posicionamiento de preformas en la faja																																																		
SPL-01	RC	Sensor magnético 90° 24 V																																																		
SPL-01	RC	Racores (1 por cada electroválvula y válvula estranguladora con antirretorno G 1/4 - 8)																																																		
SPL-01	RC	Válvula estranguladora con antirretorno G 1/4 - 8 (2 por cada actuador)																																																		
SPL-01	RM	Servomotor de control de rotación de engranajes																																																		
SPL-01	RC	Sensor capacitivo de proximidad																																																		
SPL-01	RM	Pistón de desplazamiento vertical																																																		
SPL-01	RM	Pistón de desplazamiento horizontal																																																		
SPL-01	RC	Sensor capacitivo 24 V 20 mm																																																		
SPL-01	RM	Actuador neumático semigravitario 18F																																																		
SPL-01	RM	Prensa neumática																																																		
SPL-01	RM	Pistón pisador de preformas doble efecto																																																		
SPL-01	RI	Tornillos																																																		
SPL-01	RM	Motorreductor-estación de tornillos (0.37 KW, 1.1 A, 380 V)																																																		
SPL-01	RD	Nivel de aceite del motorreductor (0.37 KW, 1.1 A, 380 V)																																																		
SPL-01	RC	Reductores del motorreductor (0.37 KW, 1.1 A, 380 V)																																																		
SPL-01	RI	Piñón y cadena ASA 40																																																		
SPL-01	RZ y RI	Barra de eje longitudinal de la torreta																																																		
SPL-01	RM	Motor eléctrico - desplazamiento de la torreta (1.8 KW, 1200 rpm, A)																																																		
SPL-01	RD	Amperaje de motor eléctrico-desplazamiento de la torreta (1 A, 1500 rpm)																																																		
SPL-01	RI	Piñón y cremallera																																																		
SPL-01	RC	Lámparas de temperatura constante (infrarrojo) 220V - 1500W																																																		
SPL-01	RC	Sensor de temperatura-temperatura																																																		
SPL-01	RD	Píndromo y reguladores de voltaje																																																		
SPL-01	RC	Sensor capacitivo de ingreso al móvil																																																		
SPL-01	RM	Actuador horizontal de la prensa																																																		
SPL-01	RI	Actuador vertical de la prensa																																																		
SPL-01	RC	Hered Switch 24 V																																																		
SPL-01	RM	Actuador controlado de alta presión 30 bar																																																		
SPL-01	RI	Brazo de la prensa																																																		
SPL-01	RZ	Válvulas del actuador de alta presión																																																		
SPL-01	RM	Pistón de desplazamiento vertical																																																		
SPL-01	RM	Pistón de desplazamiento horizontal																																																		
SPL-01	RI y RM	Actuador semigravitario 18F																																																		
SPL-01	RM	Prensa neumática																																																		
SPL-01	RD y RI	Manguera flexible de extracción de aire caliente (Fugas)																																																		
SPL-01	RD y RI	Manguera de refrigeración de agua (Fugas)																																																		
SPL-01	RD y RI	Mangueras neumáticas Ø8mm																																																		
SPL-01	RI	Unidad de mantenimiento																																																		
SPL-01	RC	Válvula reguladora de presión																																																		
SPL-01	RI	Electroválvulas 5/2 5M																																																		
SPL-01	RZ y RD	Conductores eléctricos y sus terminales																																																		
SPL-01	RZ	Tablero eléctrico																																																		
SPL-01	RM y RD	Componentes de protección (Interrupciones térmomagnéticas y relés electromecánicos)																																																		
SPL-01	RM y RD	Componentes de señalización (lámparas de señalización y pulsadores)																																																		
SPL-01	RM y RD	Conexiones eléctricas y PAT																																																		
SPL-01	RM y RD	Conexiones de protección (Interrupciones térmomagnéticas y relés electromecánicos)																																																		
SPL-01	RM y RD	Conexiones de señalización (lámparas de señalización y pulsadores)																																																		
SPL-01	RD	Conexiones eléctricas y PAT																																																		
SPL-01	RZ	Módulo de control																																																		
EMP-02	RZ	Tablero eléctrico																																																		
ENV-02	RM y RD	Componentes de protección (Interrupciones térmomagnéticas y relés electromecánicos)																																																		
ENV-02	RM y RD	Componentes de señalización (lámparas de señalización y pulsadores)																																																		
ENV-02	RD	Conexiones eléctricas y PAT																																																		
ENV-02	RM	Motor eléctrico de faja alimentadora de botellas 1.1 a 1620 rpm																																																		
ENV-02	RD	Control de amperaje																																																		
EMP-02	RC	nivel de aceite																																																		
ENV-02	RM	reductores de motor reductor																																																		
ENV-02	RM	patón agudador de botellas																																																		
EMP-02	RM	Pistón alimentador de botellas																																																		
ENV-02	RM	patón de retención de botellas																																																		
EMP-02	RC	sensor capacitivo																																																		
ENV-02	RC	patón pisador de empuje																																																		
EMP-02	RC	patón de desplazamiento vertical de coquilla																																																		
ENV-02	RC	rodillos de soporte del rollo de plástico																																																		
ENV-02	RC	sensor inductivo																																																		
EMP-02	RC	chumaceras de rodillos																																																		
ENV-02	RC	unidad de mantenimiento																																																		
ENV-02	RI	piñonete																																																		
EMP-02	RI	termoscopia																																																		
ENV-02	RZ	mangueras neumáticas																																																		
ENV-02	RI y BA	ombrines neumáticas																																																		
EMP-02	RC	racores																																																		
ENV-02	RC	válvulas reguladoras de caudal																																																		
ENV-02	RI	electroválvula																																																		
TUN-03	RI	Cadenas del motor reductor																																																		
TUN-03	RD	Control de amperaje																																																		
TUN-03	RI	Chumaceras de ventiladores																																																		
TUN-03	RI	Chumaceras de Faja Transportadora																																																		
TUN-03	RI	Píndromo y termoscopia																																																		
TUN-03	RD	Nivel de Aceite del motor reductor de faja																																																		
TUN-03	RC	Faja de Ventilador																																																		
TUN-03	RM	Motor reductor																																																		
TUN-03	RC	Chumacera de la Faja Transportadora																																																		
TUN-03	RC	Aceite del Motor Reductor de Faja (Grado 120)																																																		
TUN-03	RM	Motor Reductor de Faja																																																		
TUN-03	RI	Motor de Ventiladores																																																		
TUN-03	RC	Chumaceras de los Ventiladores																																																		
TUN-03	RD	Balance de Ventiladores																																																		
TUN-03	RM	Motor ventilador de salida de paquetes																																																		
TUN-03	RC	Curtinas laterales del Tunel																																																		
TUN-03	RI	Resistencias de Calentamiento del Tunel																																																		
TUN-03	RC	Resistencias de Cerámica del Tunel																																																		
TUN-03	RC	Malla de la faja transportadora																																																		
TUN-03	RM	Motor ventilador de resistencias																																																		
TUN-03	RM	Motor ventilador de salida de paquetes																																																		
TUN-03	RZ	Tablero eléctrico																																																		
TUN-03	RM y RD	Componentes de protección (Interrupciones térmomagnéticas y relés electromecánicos)																																																		
TUN-03	RM y RD	Conexiones 220 V, 6 A																																																		
TUN-03	RM y RD	Componentes de señalización (lámparas de señalización y pulsadores)																																																		
TUN-03	RD	Conexiones eléctricas y PAT																																																		

SOPLADORA				
Zhangjiagang Eceng Machinery/YOC-2L-4				
		COMPONENTE	MARCA	MODELO
SPL-01	CM	Piñón		
SPL-01	CM	Cadena		
SPL-01	CM	Rodamientos del piñón		6204
SPL-01	CM	Rodamientos		
SPL-01	CM	Cadena de trasiación de tomelas		
SPL-01	CM	Rodillos		
SPL-01	CM	Tornela		
SPL-01	CM	rodamientos de la tomela		609
SPL-01	CM	Cremallera de las tomelas		
SPL-01	CM	Piñón		
SPL-01	CM	Eje de giro de la pinza		
SPL-01	CM	Brazo articulado de la prensa		
SPL-01	CM	moldes		
SPL-01	CM	Pines del brazo articulado de la prensa		
SPL-01	CN	Actuador de doble efecto Posicionamiento de preformas en la faja	SMC	CP96SDB32-50C
SPL-01	CN	Actuador de doble efecto Despl. Vertical pinza	SMC	CDO2A50-RQT974-40D
SPL-01	CN	Actuador semigratorio	SMC	CDRB1DW50-190S
SPL-01	CN	Actuador semigratorio	SMC	MSU-20 180S
SPL-01	CN	Pinza Neumática	SMC	
SPL-01	CN	Electroválvula 5/2	SMC	
SPL-01	CN	Válvula reguladora de presión baja	AST	AR2000-NPT
SPL-01	CN	Válvula reguladora de alta presión	NEUTEC	QTJM-15
SPL-01	CN	Válvula reguladora de caudal G1/4 – 8	SMC	
SPL-01	CN	Manguera neumática	SMC	OD 6 / 8 / 12 / 14 mm
SPL-01	CN	Racor G1/4	SMC	OD: 6 / 8 / 12/ 14 mm
SPL-01	CE	Interruptor termomagnético	Schneider	iC65N
SPL-01	CE	Interruptor termomagnético	Schneider	iC65N
SPL-01	CE	Interruptor termomagnético	Schneider	iC65N
SPL-01	CE	Interruptor termomagnético	Schneider	NSC
SPL-01	CE	Interruptor termomagnético	Schneider	LC65N
SPL-01	CE	Interruptor termomagnético	Schneider	LC65N
SPL-01	CE	Relé electromecánico (con led de estado)	Schneider	Zelio-RXM4AB2BD
SPL-01	CE	Caja de relés		
SPL-01	CE	PLC	MITSUBICHI	FX 3U-64M
SPL-01	CE	Contactora	Schneider	LC1 E06 10 M5
SPL-01	CE	Variador de frecuencia	DELTA	VFD007E43A
SPL-01	CE	Microstep Driver	SUMTOR ELEC	DM 8060H
SPL-01	CE	Fuente (Transformador)	SHANGHAI LELANG ELECTRICAL EQUIPMENT MANUFACTURING	
SPL-01	CE	Variador de frecuencia del servomotor	Inovance	IS600PT8R4I
SPL-01	CE	Fuente (Controlador de motor)	SUMTOR ELEC	DM8060H
SPL-01	CE	Reguladores de voltaje	AVG	ZXG –C1
SPL-01	CE	Lámpara de señalización	Delixi	LD 11-11 GB140485
SPL-01	CE	Pulsadores (2Start-2Stop)	Schneider	ZB-BE101
SPL-01	CE	Selectores de maneta corta	Schneider	ZB-BE101
SPL-01	CE	Motor eléctrico –movimiento de cadenas	BAO YANG	Y2-71-4
SPL-01	CE	Servomotor		
SPL-01	CE	Motor eléctrico de despl. tomelas	INOVA	ISMH3-18C15CD
SPL-01	CE	Motor eléctrico-rodillos		
SPL-01	CE	Lámpara infrarroja		220V - 1500W
SPL-01	CE	Termocupla		
Dónde	CM	Componete mecánico		
	CN	Componente neumático		
	CE	Componente eléctrico		

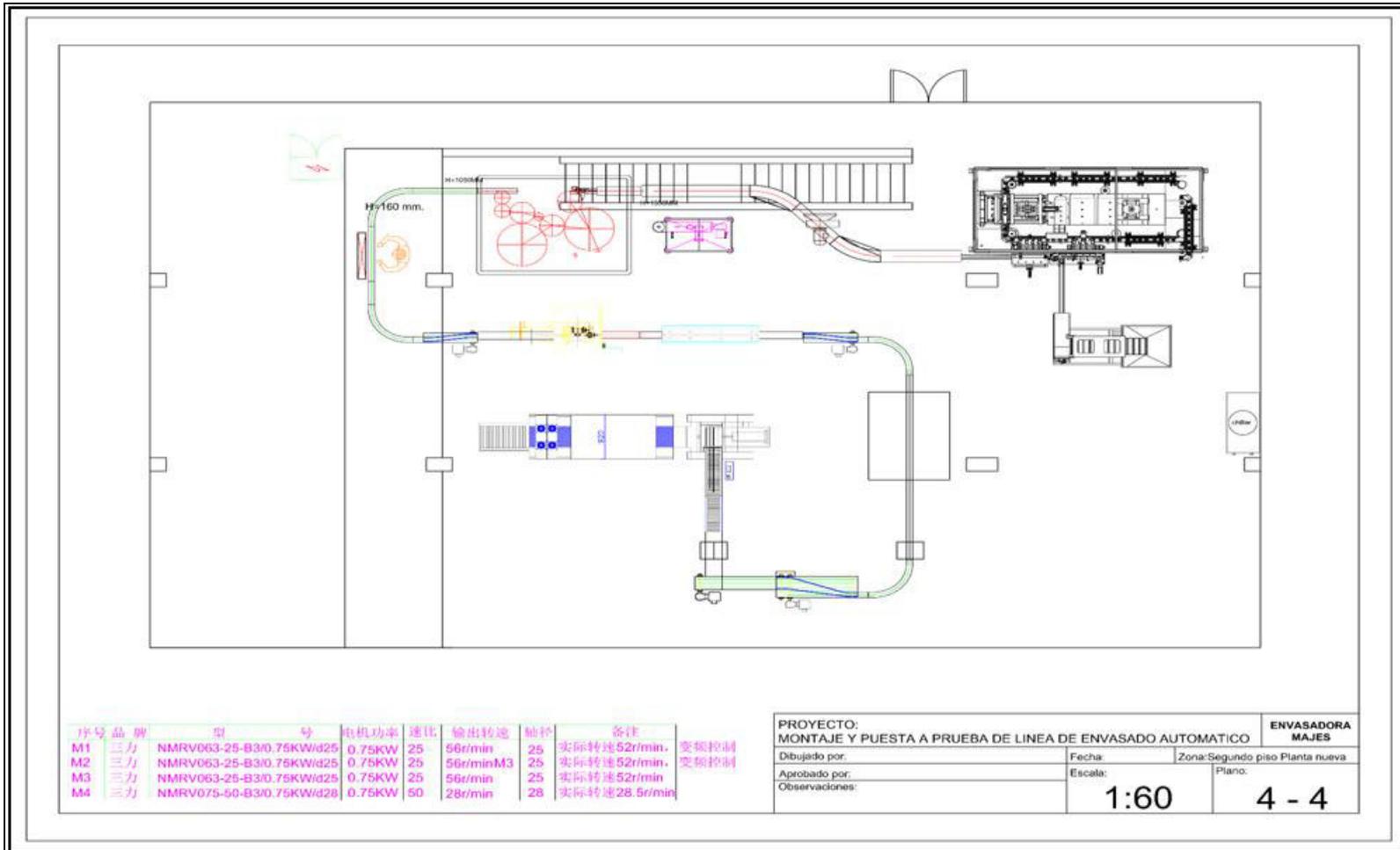
EMPAQUETADORA Sunswell Machinery/MB10				
		COMPONENTE	MARCA	MODELO
EMP-02	CM	Chumacera LK		FL203
EMP-02	CM	Ventilador axial	NING BO JIU LONG TELECOMMUNICATION AND ELECTRICAL MACHINERY	G21070HA2DL
EMP-02	CN	Pistón de retención de botellas		TN 25X30
EMP-02	CN	Pistón agrupador de botellas	SMC	
EMP-02	CN	Pistón-Alineador de botellas	SMC	
EMP-02	CN	Pistón empujador de botellas	SMC	
EMP-02	CN	Pistón pisador de paquete	SMC	
EMP-02	CN	Pistón vertical de cuchilla térmica	SMC	
EMP-02	CN	Unidad de mantenimiento	AIRTAC	BFR3000
EMP-02	CN	Válvula de globo (línea de alimentación)		7/8 "
EMP-02	CN	Unidad de mantenimiento	AIRTAC	BFR3000
EMP-02	CN	Válvula reguladora	SMC	G ¼ ø 6mm
EMP-02	CN	Válvula reguladora	SMC	ø 6mm
EMP-02	CN	Electroválvulas 5/2	SMC	
EMP-02	CN	Racor de conexión		G ¼ ø 6mm
EMP-02	CN	Racor de conexión		G ¼ ø 8 mm
EMP-02	CN	Racor de conexión		G ¼ ø 11mm
EMP-02	CN	Mangueras neumáticas	SMC	ø 6
EMP-02	CN	Mangueras neumáticas	SMC	ø 8
EMP-02	CN	Mangueras neumáticas	SMC	ø 11
EMP-02	CE	Relé de protección	Delixi	CDZ9L-52P
EMP-02	CE	PLC	OMRON	CP1E
EMP-02	CE	Relé de estado sólido	GOLD	SAP4020D
EMP-02	CE	Display interactivo	OMRON	NB7W-TW00B
EMP-02	CE	Lámpara de señalización	Delixi	LD 11-11 GB140485
EMP-02	CE	Pulsador verde NO	Schneider	ZB-BE101
EMP-02	CE	Pulsador de emergencia		
EMP-02	CE	Pirómetro	TOKY	AI208-4-RB10
EMP-02	CE	Termocupla		
EMP-02	CE	VLT	Schneider	ATV12H037M2
EMP-02	CE	Motor reductor	HL	YE2-712-4
EMP-02	CE	Motor eléctrico	HUALI Electrical Factory	YE2-72-4
Donde	CM		Componente mecánico	
	CN		Componente neumático	
	CE		Componente eléctrico	

TÚNEL CONTRAÍBLE				
		COMPONENTE	MARCA	MODELO
TUN-03	CM	Chumacera de faja		
TUN-03	CM	Ventilador axial final	NING BO JIU LONG TELECOMMUNICATION AND ELECTRICAL MACHINERY	G21070HA2DL
TUN-03	CM	Malla de la faja transportadora		
TUN-03	CM	Cortinas entrada/salida del túnel		
TUN-03	CM	Ventilador interno del túnel		
TUN-03	CM	VLT	Schneider	ATV12H075M2
TUN-03	CE	Interruptores termomagnéticos	Delixi	DZ47sLE
TUN-03			Delixi	DZ47s
TUN-03	CE	Relé térmico	Schneider	LRE 07
TUN-03	CE	Guardamotor	Delixi	
TUN-03	CE	Contactador	Schneider	LC1 E09 10
TUN-03	CE	Contactador	TIANSHUI 213	GSC1(CJX4-d)- 6511
TUN-03	CE	Motor eléctrico	THQEE QENCY MOTOR TECHNOLOGY	HFL80M2-4
Donde	CM		Componete mecánico	
	CN		Componente neumático	
	CE		Componente eléctrico	

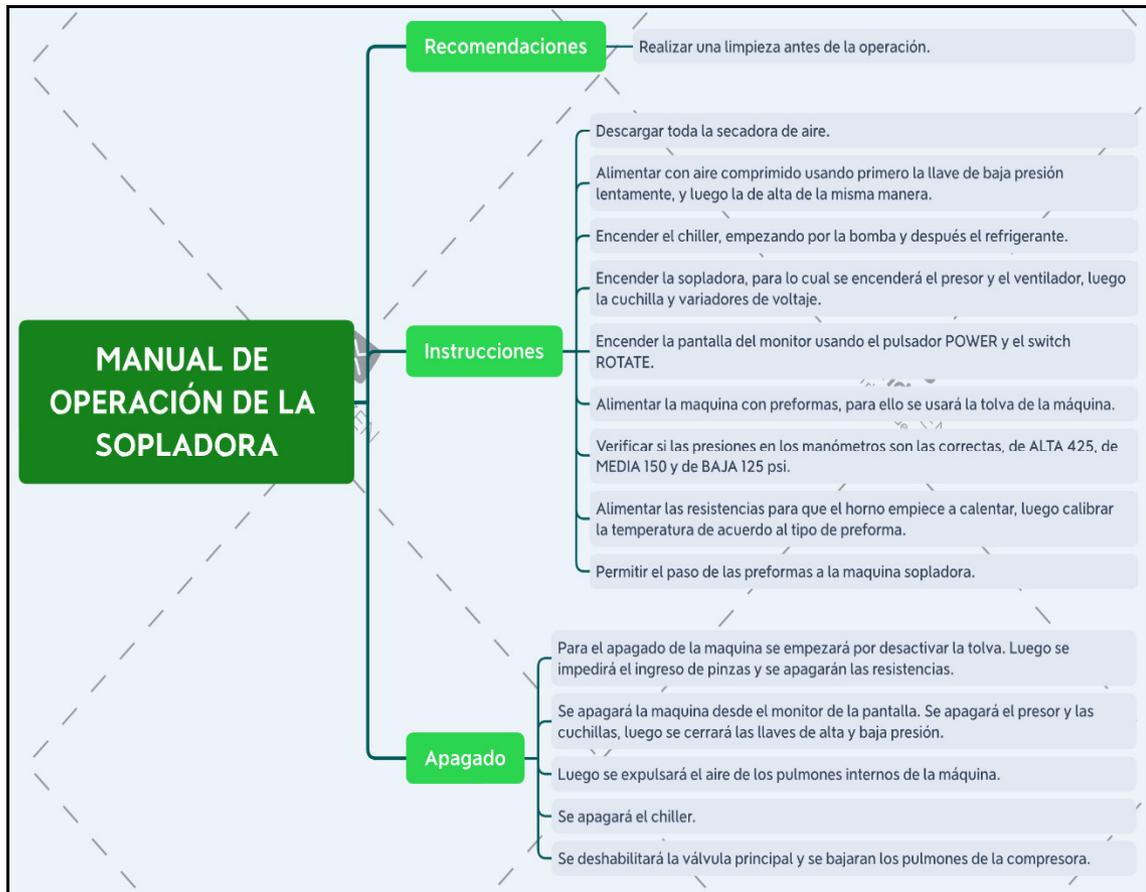
Anexo 3. Planos de Señalización



Anexo 4. Plano de distribución de línea



Anexo 6. Manual de Operaciones Básico de una Sopladora.



Anexo 7. Examen Básico para Operador.

	EXAMEN DE CERTIFICACIÓN MÁQUINA SOPLADORA ÁREA DE PRODUCCIÓN	Código: EM-SGSST-EC-01 Versión: 01 Aprobado: Dpto. Seguridad Fecha: 20/01/2020
---	--	---

Plan:	EXAMEN DE CERTIFICACIÓN	Fecha de Revisión	20/01/2020
Cargo:	JEFE DE PLANTA / JEFE DE MANTTO	Fecha de Publicación	21/01/2020
Área:	DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD	NIVEL:	BÁSICO

EXAMEN TEÓRICO DE MÁQUINA SOPLADORA

¿Qué documento se requiere antes de realizar el trabajo?

- a) El ATS y PETS
- b) El PETAR Y PETS
- c) El IPERC y PETS

¿Cuál de estos implementos de seguridad no está relacionada con el tipo de trabajo?

- a) Casco (cuando se hace mantenimiento)
- b) Protección auditiva (orejeras)
- c) Lentes
- d) Botas de seguridad
- e) Guantes (cuando se hace mantenimiento)
- f) Respirador

¿Qué tipo de guantes se debe usar en este trabajo?

- a) Guantes de látex
- b) Guantes de cuero
- c) Guantes de nitrilo

¿Qué tipo de protección auditiva deben usar durante la jornada?

- a) Solo tapón auditivo
- b) Solo es necesario orejera
- c) Tapón y orejera

¿Al activar el Presor, las presiones en los manómetros deben ser de?

- a) Alta 425 psi media 150 psi y baja 120 psi
- b) Alta 420 psi media 140 psi y baja 120 psi
- c) Alta 425 psi media 130 psi y baja 110 psi

¿En la calibración de la maquina después de revisar los manómetros se debe activar el modo?

- a) Automático
- b) Manual
- c) Ninguna de las anteriores

¿Cuándo se activa las resistencias de la maquina sopladora esto involucra qué?

- a) El horno aún no se enciende
- b) El horno empezara a calentar
- c) Se calibra la temperatura

Para el apagado de máquina señale cual no corresponde

- a) Desactivar la tolva donde se encuentran las proformas
- b) Deshabilitar el ingreso de pinzas
- c) Alimentar la maquina sopladora con las proformas
- d) Apagar las resistencias

Para la operación de la máquina sopladora el primer paso es:

- a) Encender el Chiller
- b) Conmutar el interruptor
- c) Apagar las resistencias

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Se calibra la temperatura
- b) Deshabilitar el ingreso de pinzas
- c) Abrir la llave del tanque (pulmón)

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Encender la Chiller
- b) Abrir llave de salida del tanque a la sopladora.
- c) Apagar las resistencias

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Conmutar el interruptor automático del Chiller.
- b) Calibrar la temperatura
- c) Desactivar la tolva donde se encuentran las proformas

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Conmutar cuatro interruptores de cada tablero TC-01, TM-01 y TM-02 (variador lógico de tiempo, guarda motor eléctrico, interruptor termo magnético trifásico y termo magnético trifásico.
- b) Conmutar cuatro interruptores de cada tablero TC-01, TM-01 y TM-02 (variador lógico de tiempo, guarda motor eléctrico, interruptor termo magnético trifásico y termo magnético monofásico.
- c) Conmutar cuatro interruptores de cada tablero TC-01, TM-01 y TM-02 (variador lógico de tiempo, guarda motor eléctrico, interruptor termo magnético monofásico y termo magnético trifásico.

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Desactivar el pulsador de emergencia y conmutar a ON el primer Switch en tablero TC-01
- b) Conmutar el interruptor automático del Chiller.
- c) Abrir llave de salida del tanque a la sopladora.

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Cerrar válvula del tanque.
- b) Encender la Chiller
- c) Abrir llave de salida del tanque a la sopladora.

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Abrir válvula de pre soplado.
- b) Conmutar el interruptor automático del Chiller.
- c) Abrir llave de salida del tanque a la sopladora.

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Encender la Chiller
- b) Abrir llave de salida del tanque a la sopladora.
- c) Conmutar cuchilla principal. (TM-03)

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Abrir llave de salida del tanque a la sopladora.
- b) Apagar las resistencias
- c) Conmutar cuchillas de lámparas. (TM-03)

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Desactivar la tolva donde se encuentran las proformas
- b) Girar llave principal de poder en el control Touchscreen.
- c) Calibrar la temperatura

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Girar Switch de ROTATE en el control Touchscreen.
- b) Encender la Chiller
- c) Abrir llave de salida del tanque a la sopladora.

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Conmutar el interruptor automático del Chiller.
- b) Abrir llave de salida del tanque a la sopladora.
- c) Probar el molde de botellas abriéndolo y cerrándolo 3 veces.

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Abrir llave de salida del tanque a la sopladora.
- b) Apagar las resistencias
- c) Activar torneras.

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Activar lámparas.
- b) Abrir llave de salida del tanque a la sopladora.

- c) Conmutar cuchilla principal. (TM-03)

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Probar el funcionamiento de todas las pinzas.
- b) Encender la Chiller
- c) Abrir llave de salida del tanque a la sopladora.

Para la operación de la máquina maquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Activar lámparas.
- b) Abrir llave de salida del tanque a la sopladora.
- c) Activar controladores (A al F)

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Conmutar el interruptor automático del Chiller.
- b) Abrir llave de salida del tanque a la sopladora
- c) Activar Switch del auto Loader.

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Conmutar el interruptor automático del Chiller.
- b) Abrir llave de salida del tanque a la sopladora.
- c) Encender la faja de alimentación de preformas.

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Abrir llave de salida del tanque a la sopladora.
- b) Apagar las resistencias
- c) Esperar que las lámparas lleguen a 75 °C (15 min).

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Desactivar el pulsador de emergencia y conmutar a ON el primer Switch en tablero 01
- b) Conmutar el interruptor automático del Chiller.
- c) Empezar la producción.

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Probar el funcionamiento de todas las pinzas.
- b) Encender la Chiller
- c) Al finalizar la producción del día, se cierra el molde de botella.

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Abrir llave de salida del tanque a la sopladora.
- b) Conmutar cuchilla principal. (TM-03)
- c) Cerrar la válvula del aire.

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Abrir llave de salida del tanque a la sopladora
- b) Activar Switch del auto Loader
- c) Desactivar Switch de ROTATE y cerrar la llave de poder

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Abrir llave de salida del tanque a la sopladora.
- b) Activar controladores (A al F)
- c) Apagar cuchillas de lámparas y la principal.

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Abrir llave de salida del tanque a la sopladora
- b) Activar Switch del auto Loader
- c) Cerrar válvula de pre soplado.

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Apagar las resistencias
- b) Activar torneras.
- c) Apagar Chiller.

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Desactivar el pulsador de emergencia y conmutar a ON el primer Switch en tablero TC-01
- b) Conmutar el interruptor automático del Chiller.
- c) Apagar conmutadores de tableros de control de las compresoras en el primer piso.

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Abrir llave de salida del tanque a la sopladora
- b) Activar Switch del auto Loader
- c) Cerrar válvula de alimentación de aire para sopladora.

Para la operación de la máquina sopladora el siguiente paso es:

- a) Cerrar válvula del tanque.
- b) Activar torneras.
- c) Apagar Chiller.

Anexo 8. Examen para el Operador Nivel Intermedio.

	<p>EXAMEN DE CERTIFICACIÓN</p> <p>MAQUINA SOPLADORA</p> <p>ÁREA DE PRODUCCIÓN</p>	<p>Código: EM-SGSST-EC-01 Versión: 01 Aprobado: Dpto. Seguridad Fecha: 20/01/2020</p>
---	---	--

Plan:	EXAMEN DE CERTIFICACIÓN	Fecha de Revisión	20/01/2020
Cargo:	JEFE DE PLANTA / JEFE DE MANTTO	Fecha de Publicación	21/01/2020
Área:	DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD	NIVEL:	INTERMEDIO

EXAMEN PRACTICO DE MÁQUINA SOPLADORA

ACCIONES	SI	NO	REQUIERE MEJORA
Realiza su trabajo con el equipo de proteccion personal adecuado y completo			
Realiza un correcto IPERC antes de ejecutar la tarea			
Mantiene su área de trabajo limpio y ordenado			
Realiza la inspeccion de su material y herramientas que se encuentren en buen estado			
El operador antes de encender la maquina revisa que las llaves de baja y alta presion esten bien cerradas			
Abre la alimentacion de aire de manera correcta (primero la llave de baja presion y despues la de alta presion ambos lentamente)			
Reliza la correcta limpieza de la máquina			
Trabaja en equipo con los auxliars de area)			

Realiza el correcto encendido de máquina chiller (enciende la bomba y despues el refrigerante)			
Reliza el correcto encendido (segunda parte)(debe encender el presor y ventilador de la máquina)			
Durante todo este proceso cuenta con tapones auditivos y orejeras			
Realiza una correcta calibracion de la máquina sopladora			
Realiza el correcto procediemento para el apagado de la máquina			
Deja el área de trabajo en condiciones adecuadas de orden y limpieza			
Realiza un correcto encendido de la máquina chiller			
Realiza una correcta activacion de tomeras			
Activa correctamente las lámparas			
Realiza las pruebas de funcionamiento de todas las pinzas			
Al finalizar la producción del día, cierra el molde de botella correctamente			
Activa los controladores (A al F) correctamente			
Apaga las cuchillas de lámparas y la principal correctamente			
Apaga los conmutadores de tableros de control de las compresoras en el primer piso correctamente			
Cierra la válvula de alimentación de aire para sopladora correctamente			

Anexo 9. Ventana de archivo EES abierto con las 3 ventanas de desarrollo en paralelo para el cálculo de las torres de enfriamiento.

The screenshot displays the EES software interface with three windows open:

- Equations Window:** Contains the following text:

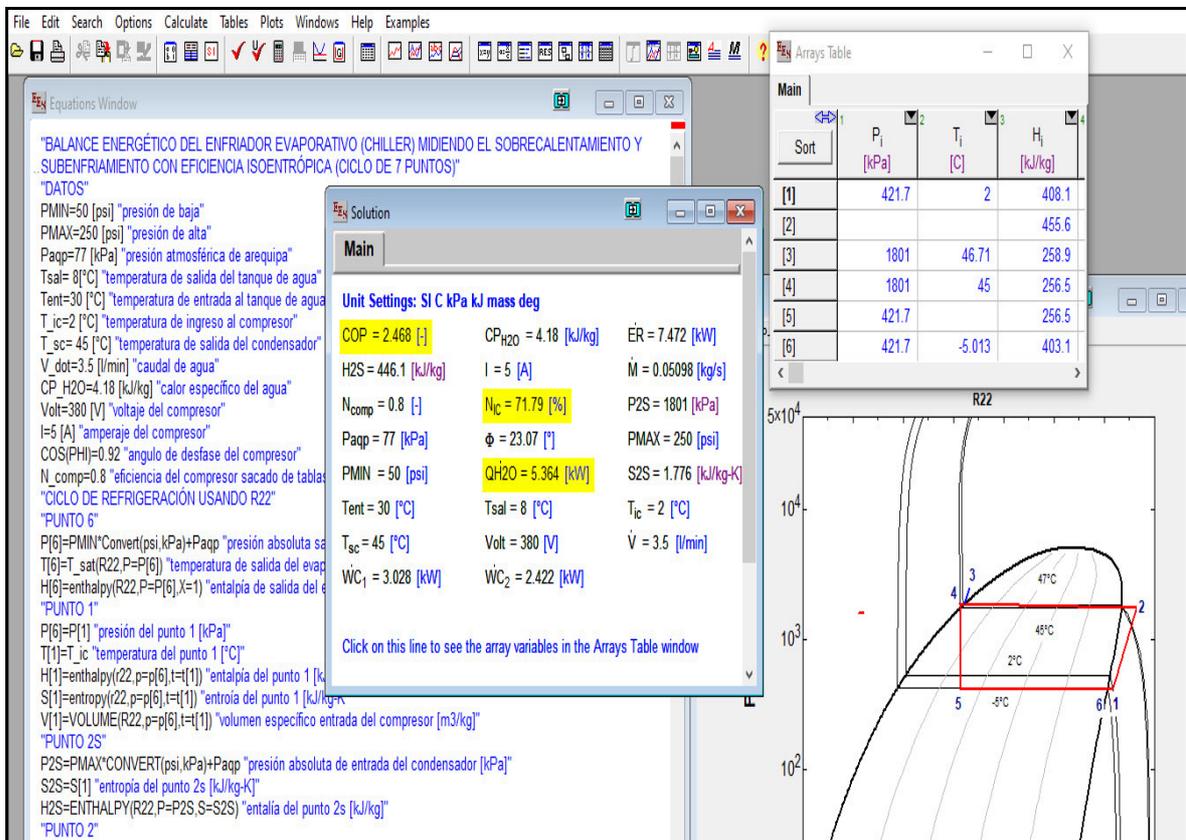

```
"CÁLCULO DE TORRE DE ENFRIAMIENTO ARTESANAL"
"DATOS"
TA=20 [°C] "TEMPERATURA DE SALIDA DE BOMBA"
TB=28 [°C] "TEMPERATURA DE SALIDA DE PROCESO"
TC=21 [°C] "TEMPERATURA DE ENTRADA A TANQUE"
Tamb=15 [°C] "TEMPERATURA AMBIENTE"
V_dot=5 [l/min] "CAUDAL DE AGUA"
At=8 [m2] "ÁREA TOTAL DE TORRE DE ENFRIAMIENTO [m2]"
CP=4.18 [kJ/kg-C] "CALOR ESPECIFICO DEL AGUA"
rho=1000 [kg/m3] "DENSIDAD DEL AGUA"
"Cálculo de eficiencia de torre de enfriamiento"
M_dot=V_dot*convert(l/min,m3/s)*rho "FLUJO MÁSIICO DEL AGUA [kg/s]"
Q_dot_sopladora=CP*M_dot*(TB-TA) "CALOR EMITIDO POR SOPLADORA [kW]"
Q_dot_sopladora=Q_dot_te "CALOR ABSORVIDO POR TORRE DE ENFRIAMIENTO [kW]"
Q_dot_te=At*h*(TB-Tamb)/1000 "CÁLCULO DEL H CONVECTIVO DE TORRE DE ENFRIAMIENTO [W/m2-K]"
```
- Solution window:** Shows unit settings and calculated values:

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg		
At = 8 [m ²]	CP = 4.18 [kJ/kg-C]	h = 26.79 [W/m ² -K]
Ṁ = 0.08333 [kg/s]	Q̇ _{sopladora} = 2.787 [kW]	Q̇ _{te} = 2.787 [kW]
ρ = 1000 [kg/m ³]	TA = 20 [°C]	Tamb = 15 [°C]
TB = 28 [°C]	TC = 21 [°C]	V̇ = 5 [l/min]

1 potential unit problem was detected.
 EES suggested units (shown in purple) for Q_dot_te .
- Formatted Equations window:** Displays the formatted equations:


```
TA = 20 [°C]
TB = 28 [°C]
TC = 21 [°C]
Tamb = 15 [°C]
V̇ = 5 [l/min]
At = 8 [m2]
CP = 4.18 [kJ/kg-C]
ρ = 1000 [kg/m3]
Cálculo de ef
Ṁ = V̇ · 0.0000166667 ·  $\frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{l/min}}$  · ρ
Q̇sopladora = CP · Ṁ · (TB - TA)
Q̇sopladora = Q̇te
Q̇te = At · h ·  $\frac{TB - Tamb}{1000}$ 
```

Anexo 10. Ventana de archivo EES abierto con las 4 ventanas de desarrollo en paralelo para el cálculo del Chiller.



Anexo 11. Cuestionario 1

Fecha:	23/8/2020		
Nombre:	Helbert Rivera		
Cargo:	Jefe de Mantenimiento		
Correo electrónico:	mantenimiento@envasadoramajes.com		
Área: (Marque con una X)	<input type="checkbox"/>	Mantenimiento (x)	<input type="checkbox"/> Gerencia

1. Tiene conocimiento del funcionamiento de un sistema de enfriamiento de agua, (Chiller) y tiene algún equipo en planta (describir)

2. Qué características debe de tener el equipo para su instalación

3. Qué características debe de tener el equipo para su fácil operación y mantenimiento

4. Conoce usted algunas marcas, descríbelas en función de calidad y costos

5. Tenemos algún inconveniente referido a suministros, componentes y la logística de mantenimiento con respecto al sistema de frio (Chiller)

6. Conoce de empresas especializadas en mantenimiento a nivel regional y nacional

7.Cuál es el nivel de conocimiento técnico con respecto a sistemas de refrigeración de su personal

8. Qué características debe técnicas debe de tener el equipo de frio a instalar (chiller) a su parecer y que marca, modelo y empresa sería la de su elección

9. Cuanto sería el presupuesto asignado para el mantenimiento de un sistema de frio (chiller) y el tiempo para su mantenimiento de parte del personal, de no ser así cuanto sería el presupuesto para un mantenimiento de una empresa terciaria.

10. Usted tiene decisión en compras de equipos y componentes, de no ser así quien se las aprueba y por cuanto es el monto aproximado

Anexo 12

Fecha:	26/8/2020		
Nombre:	Evelyn Ramos		
Cargo	Gerente administrativa		
Correo electrónico:	mantenimiento@envasadoramajes.com		
Área: (Marque con una X)	<input type="checkbox"/>	Mantenimiento ()	<input checked="" type="checkbox"/> Gerencia (x)

1. Tiene conocimiento del funcionamiento de un sistema de enfriamiento de agua, (Chiller) y tiene algún equipo en planta (describir)

2. Que características debe de tener el equipo para su instalación.

3. Que características debe de tener el equipo para su fácil operación y mantenimiento

4. Conoce usted algunas marcas, descríbelas en función de calidad y costos

5. Tenemos algún inconveniente referido a suministros, componentes y la logística de mantenimiento con respecto al sistema de frio (Chiller)

6. Conoce de empresas especializadas de ventas de equipos de frio tipo Chiller a nivel regional y nacional

7.Cuál es el costo aproximado o presupuesto para la compra del equipo

8. Que características de costos debe de tener el equipo de frio a instalar (Chiller) a su parecer y que marca, modelo y empresa sería la de su elección

9. Cuanto sería el presupuesto asignado para el mantenimiento de un sistema de frio (Chiller), de no ser así cuanto sería el presupuesto para un mantenimiento de una empresa terciaria, que la empresa tiene presupuestada.

10.Reconoce la importancia del cambio de operación de la máquina sopladora y la instalación de un equipo “nuevo” para mejorar su producción

Anexo 13. Hoja de mantenimiento para el Chiller

 MANTENIMIENTO CHILLER ASAMBLEA LEJISLATIVA.		Modelo: 30GX Serie:3498F65240		
ASAMBLEA LEGISLATIVA REPÚBLICA DE EL SALVADOR		CODES SA.		
Realizo: Juan Carlos Valle Santamaría		Fecha:13-09-2013		
Items.	Descripción de trabajo A realizar	R	P	Observaciones.
3.1	Limpieza de manejadoras de los sistemas Chillers	✓		
3.2	Limpieza de condensadores y torres de enfriamiento Chillers(lavado serpentines)revisión de válvulas agua de cierre y cambio si es necesario.	✓		
3.3	Revisión de contactores, térmicos, terminales, tabletas electrónicas y limpieza de éstas	✓		Contactador dañado
3.4	Revisión de bobinas, controles de presión, temperatura incluye; cambio de Manómetros y termómetros.	✓		comp. b2,arranque estrella delta.
3.5	Revisión y lubricación de baleros y bushing en motores	✓		
3.6	Verificación de ruidos disonantes al perfecto funcionamiento.	✓		
3.7	Revisión de válvulas solenoides de 17/24v.-50/60 hz.	✓		
3.8	Revisión y ajuste de niveles de aceite al compresor y control de sensores sistema Chillers	✓		
3.9	Mediciones de voltaje y corriente de sistemas de bombeo de recirculación del sistema Chillers	✓		
3.10	Revisión de sistema de control, protecciones, sensores, contactores, relés, de sistemas Chillers, sellado de fugas de aceite.	✓		
3.11	Revisión completa de sistemas de bombeo primario, secundario auxiliar, circuitos eléctricos de bombas de sistemas Chillers.	✓		
3.12	Revisión de sellos mecánicos de sistema de bombeo de recirculación Y a tratamiento de agua y análisis químico a sistema Chillers	✓		
3.13	Revisión de baleros de motores y bombas de recirculación de sistema Chillers	✓		
3.14	Medición de presiones en sistema de recirculación de sistema Chillers.	✓		
3.15	Revisión sistema eléctrico y mecánico de torres de enfriamiento de sistema Chillers.	✓		
3.16	Revisión y control de sistema de distribución de agua fría Chillers	✓		
3.17	Revisión de válvulas de control de agua del sistema Chillers (incluye cambio de válvulas si es necesario).	✓		
3.18	Revisión tuberías principales de distribución de agua.	✓		
3.19	Revisión de aislamiento térmico de la tubería de distribución de agua de sistema Chillers, incluye pintura general a todas sus estructuras y cambio de aislamiento térmico del sistema del chiller cada 6 meses.	✓		
3.20	Revisión y control de sensores de flujo de agua de sistema Chiller.	✓		
3.21	Revisión y/o inyección de carga refrigerante (incluye el suministro de gas Refrigerante 134-a y R-R-410.en chiller y sistemas convencionales.	✓		
3.22	Revisión de protecciones alta y baja presión ,térmicas, protectores de f.	✓		
3.23	Limpieza de ductos de suministro y retorno de aire.	✓		
3.24	Revisión de voltaje y amperaje a sistema chiller ,debiéndose anotar las lecturas en cada reporte para cada equipo del sistema.	✓		
3.25	Limpieza de filtros serpentines.	✓		
3.26	Limpieza de rejillas de salida y difusores.	✓		
3.27	Revisión de sistema eléctrico evaporador y externa de condensadores.	✓		
3.28	Cambio de líneas y term. recalentados si es necesario (cable y Terminales)	✓		

Anexo 14. Manual de operación y Mantenimiento Chiller

UNIDAD GENERADORA DE AGUA HELADA CHILLER

SKYCHILLERS



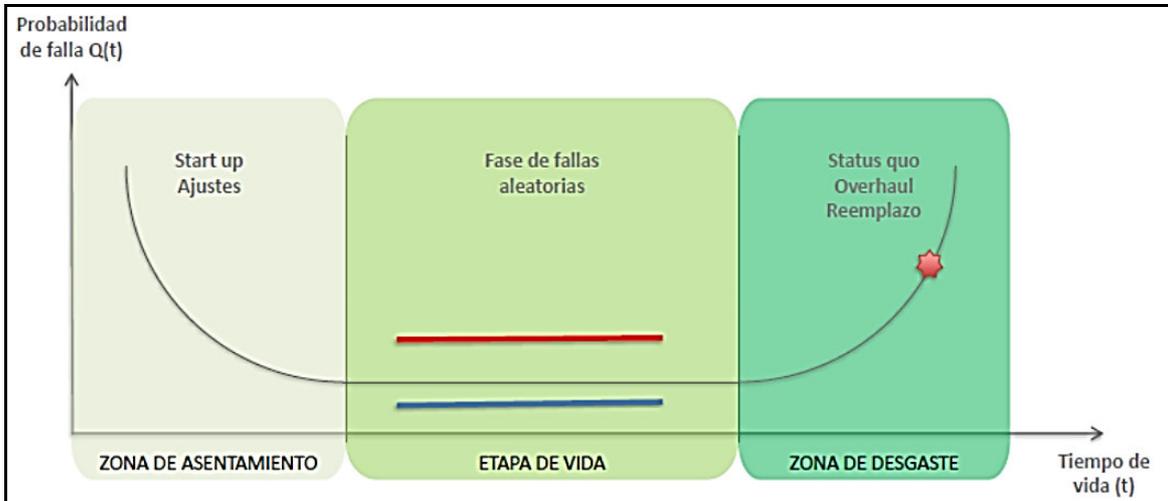
SKCLA090

SKCLA090/260914

MANUAL DEL USUARIO

LEA Y GUARDE ESTAS INSTRUCCIONES

Anexo 15. Vida Útil del Equipo a Seleccionar.



Al ser un equipo de segundo uso se realizó un previo análisis de su Alta calidad y su alta confiabilidad siendo los siguientes datos los mas importantes para su condición.

- Año y medio de uso previo a su venta
- Calidad media (Made in China)
- MTF (tiempo promedio para fallar en 3 meses): 1178 h
- MTR (tiempo promedio para reparar en 3 meses): 15h

Realizando un calculo para hallar su disponibilidad del equipo logramos obtener que:

$$\frac{MTF}{MTF + MTR} = \frac{1178}{1178 + 15} = 0.98 \%$$

Anexo 16. Protocolo de Pruebas

PROTOCOLO DE PRUEBAS (CHILLER)			
CLIENTE: Envasadora Majes S.A		PPC N°125 - 2021	
OBRA: Instalacion de un nuevo Chiller			
DATOS DE EQUIPO			
NOMBRE:	CHILLER 3TR	TENSION DE SERVICIO	380 V
TIPO:	FULL AUTOMATIC	AÑO	2021
DIMENSIONES:	1515 x 915 x 1560 MM	FASES	3F+50Hz
EQUIPAMIENTO			
Sistema de refrigeracion correctamente conectado y operativo		ESTADO	FUNCION
Refrigerante R22		OK	OK
Agua tratada para la limpieza de tuberias		OK	OK
Manometro para la medicion de aire comprimido		OK	OK
Condensador y Evaporador activos		OK	OK
Valvula de la carga del refrigerante sin obstruccion		OK	OK
PRUEBAS EFECTIVAS			
MECANICAS		RESULTADOS	
Operación mecanica de los equipos		OK	
Verificacion de cantidad y capacidad de los equipos		OK	
Verificacion de indices y niveles en el tablero		OK	
Cierre de todas las salidas y lugares de fugaas		OK	
Verificacion del estado de tuberias		OK	
ELECTRICAS			
Verificacion del encendido		OK	
Operatividad del circuito de control		OK	
Señalizacion visual		OK	
Correcto funcionamiento de los variadores de velocidad		OK	

PROTOCOLO DE PRUEBAS (CHILLER Y SOPLADORA)			
CLIENTE: Envasadora Majes S.A		PPC N°126 - 2021	
OBRA: PRUEBA EN CONJUNTO			
DATOS DE EQUIPO			
NOMBRE:	CHILLER 3TR / SOPLADORA Q6000	TENSION DE SERVICIO	380 V
TIPO:	AUTOMATICO/ SEMIAUTOMAITCA	AÑO	2021
DIMENSIONES:	4500x2000x2300	FASES	3F+50Hz
EQUIPAMIENTO/ FUNCIONAMIENTO		ESTADO	FUNCION
Enfriamiento correcto de moldes de preformas		OK	OK
Tinas de enfriamiento a lo largo de los hornos		OK	OK
Tuberias de desplazamiento sin obstrucciones		OK	OK
Refrigeracion constante durante toda la produccion		OK	OK
Aumento de la produccion de PET /BTH		OK	OK
Correcto desplazamiento por todo el sistema hidraulico		OK	OK
PRUEBAS EFECTIVAS		RESULTADOS	
MECANICAS			
Operación mecanica de los equipos		OK	
Verificacion de los componentes de ambos equipos		OK	
Cierre de compuertas de ingreso de preformas y de hornos		OK	
Verificamos el correcto desplazamiento de las cadenas		OK	
Verificacion del correcto accionamiento de pistones de todo la maquina.		OK	
ELECTRICAS			
Verificacion del encendido		OK	
Operatividad del circuito de control		OK	
Señalización visual		OK	
Correcto funcionamiento de los variadores de velocidad		OK	

Anexo 17. Matriz de Consistencia

Título: Instalación y evaluación energética de un chiller para el enfriamiento de una máquina sopladora automática de botellas

PET

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>General ¿Qué efecto tendrá en el enfriamiento de la máquina sopladora automática de botellas PET, la implementación de un chiller industrial?</p> <p>Específicos ¿El método inicial del dimensionamiento del chiller, permitirá seleccionar un chiller para la máquina sopladora automática de botellas PET? ¿La instalación del chiller, mejorará el sistema de enfriamiento de la máquina sopladora automática de botellas PET? ¿La evaluación energética del chiller industrial, permitirá medir la performance de operación del sistema de enfriamiento de la máquina sopladora automática de botellas PET? ¿Qué pasos y requisitos se deben respetar para la instalación del Chiller industrial?</p>	<p>General Implementar un chiller industrial, para enfriar la máquina sopladora automática de botellas PET</p> <p>Específicos Seleccionar adecuadamente un Chiller de agua industrial, para la máquina sopladora automática de botellas PET. Instalar el chiller para el enfriamiento de la máquina sopladora automática de botellas PET. Evaluar la eficiencia energética del chiller instalado para medir en la máquina sopladora automática de botellas PET. Analizar el comportamiento del sistema y validar su funcionamiento térmico, para el aumento de producción de botellas PET de la empresa ENVASADORA MAJES E.I.R.L.</p>	<p>General La implementación de un chiller industrial tiene efecto en el enfriamiento de la máquina sopladora automática de botellas PET.</p> <p>Específicos La selección de un chiller de segundo uso, influye en el sistema de enfriamiento de la máquina sopladora automática de botellas PET. La instalación de un chiller, influye en el sistema de enfriamiento de la máquina sopladora automática de botellas PET. La evaluación energética del chiller, permitirá medir la performance del sistema de enfriamiento de la máquina sopladora de botellas PET. Los pasos y requisitos para la instalación del Chiller, influirán en el correcto funcionamiento de la máquina sopladora de botellas PET</p>	<p>Enfriamiento de la máquina sopladora automática de botellas PET</p> <p>Indicadores Aumento de la producción de botellas PET.</p> <p>Evaluación energética del chiller instalado Indicadores Variación de consumo de energía en la máquina sopladora.</p> <p>Instalación de un chiller adecuado Indicadores Matriz morfológica de evaluación técnica de chillers.</p> <p>Variación de temperatura en la máquina sopladora.</p>	<p>Método Deductivo directo</p> <p>Tipo Cuantitativa</p> <p>Alcance Descriptivo correlacional</p> <p>Unidad de estudio Chiller industrial para torre de enfriamiento</p>