



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA

MECÁNICA ELÉCTRICA

**Optimización del sistema de refrigeración, para reducir
tiempo de congelado de uva en una Planta Procesadora –
Piura**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Carnero Calle, Joao Ficedaraed David (orcid.org/0000-0003-0138-4221)

ASESOR:

Dr. Salazar Mendoza, Anibal Jesus (orcid.org/0000-0003-4412-8789)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO - PERÚ

2022

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mi madre y familia, por haberme forjado como un buen ser humano y por siempre motivarme para alcanzar mis anhelos.

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de investigación va dirigido a mis padres, esposa e hijos, James, hermanos y familiares por ser un pilar fundamental en mi formación como persona y profesional, brindándome la confianza, consejos y recursos para lograrlo; a mi madre gracias por estar en esos momentos difíciles brindándome su amor, paciencia y oportunidades.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
I. INTRODUCCIÓN	7
II. MARCO TEÓRICO	10
III. METODOLOGÍA	21
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	21
3.2 Variables y operacionalización	21
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	22
3.4. Procedimientos.....	22
3.6. Método de análisis de datos	23
3.7. Aspectos éticos	23
IV. RESULTADOS	24
4.1. Diagnóstico actual del sistema de enfriamiento	24
4.1.1. Descripción del sistema de enfriamiento californiano	24
4.1.2. Características Térmicas actuales en el sistema de túnel californiano ..	29
4.1.3. Costos asociados al sistema de Túnel Californiano	32
4.1.4. Costo por tonelada de producto terminado.....	35
4.2. Definición de los parámetros de diseño del sistema de refrigeración a optimizar.....	36
4.2.1. Parámetros de la capacidad del sistema de enfriamiento a partir de las necesidades del mercado.	36
4.2.2. Aspectos de infraestructura física.....	38
4.2.3. Parámetros térmicos	40
4.3. Selección de los componentes del sistema de refrigeración de acuerdo a los parámetros de diseño	43
4.3.1. Parámetros térmicos	43
4.3.2. Suma de cargas térmicas.....	46
4.3.3. Cálculo de la potencia frigorífica	46

4.3.4.	Calcular el ciclo de refrigeración	47
4.3.5.	Seleccionar los componentes del sistema de refrigeración	55
4.4.	Evaluación económica de la implementación del sistema propuesto.....	64
4.4.1.	Inversión de habilitación del sistema de refrigeración propuesto.....	64
4.4.2.	Depreciación de activos fijos	¡Error! Marcador no definido.64
4.4.3.	Presupuesto de ingresos, costos y gastos	65
V.	Discusión	67
	Conclusiones.....	70
	Recomendaciones.....	71
	REFERENCIAS	72
	ANEXOS.....	76

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Características de los materiales utilizados en las paredes.</i>	16
Tabla 2	<i>Resumen de las cargas térmicas totales.</i>	18
Tabla 3	<i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos.</i>	22
Tabla 4	<i>Características de la Uva que entra a túnel de enfriamiento.</i>	24
Tabla 5	<i>Parámetros del sistema de Túnel de enfriamiento.</i>	26
Tabla 6	<i>Datos sobre tiempo de enfriamiento en el túnel californiano.</i>	26
Tabla 7	<i>Coefficientes de transferencia por tipo de cámara.</i>	30
Tabla 8	<i>Densidad del aire según la altura.</i>	30
Tabla 9	<i>Resumen de cargas térmicas del sistema.</i>	31
Tabla 10	<i>Consumo energético del túnel de enfriamiento californiano.</i>	32
Tabla 11	<i>Tareas de mantenimiento desarrolladas en el túnel californiano.</i>	33
Tabla 12	<i>Resumen de costos de mano de obra.</i>	34
Tabla 13	<i>Data Histórica de Producción de Uva en Piura.</i>	36
Tabla 14	<i>Proyección de Producción de Uva.</i>	37
Tabla 15	<i>Toneladas por túnel de enfriamiento estimado.</i>	38
Tabla 16	<i>Resumen de cargas térmicas sistema nuevo.</i>	46
Tabla 17	<i>Matriz de ponderación para seleccionar el refrigerante.</i>	49
Tabla 18	<i>Diseño del evaporador en función a la humedad relativa.</i>	50
Tabla 19	<i>Calcular presión en el evaporador.</i>	50
Tabla 20	<i>Calcular presión en el condensador.</i>	51
Tabla 21	<i>Matriz de ponderación.</i>	56
Tabla 22	<i>Modelo de compresor</i>	60
Tabla 23	<i>Modelo para el condensador.</i>	61
Tabla 24	<i>Compra de maquinaria y equipo</i>	64
Tabla 25	<i>Costos adicionales para el nuevo sistema de refrigeración optimizado.</i>	64
Tabla 26	<i>Costos sobre el personal en operación.</i>	65

Índice de figuras

Figura 1 Túnel californiano, dirección del flujo de aire.	14
Figura 2 Túnel con sistema continuo; lado izquierdo para ingreso completo de palets; lado derecho ingreso por jabas individuales.	15
Figura 3 Ciclo de refrigeración.....	17
Figura 4 Diseño esquemático del sistema de Túnel de enfriamiento californiano.	25
Figura 5 Plano esquemático del túnel de enfriamiento californiano.	28
Figura 6 Grafica de dispersión y línea de tendencia de producción de Uva en Piura.	37
Figura 7 Plano esquemático del túnel de enfriamiento californiano.	39
Figura 8 Programa de simulación para sistema de refrigeración.	52
Figura 9 Diagrama de entalpías en el sistema de refrigeración.	53
Figura 10 Cuadro resumen de las entalpías.....	53
Figura 11 Compresor en diagrama.	59
Figura 12 Diagrama de seguridad del compresor.....	59
Figura 13 Diagrama del condensador.....	61
Figura 14 Diagrama de seguridad del condensador.	62
Figura 15 Diagrama principal del refrigerante r717.....	63

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal Optimizar el sistema de refrigeración, para reducir tiempo de congelado de uva en una planta procesadora en Piura, teniendo en consideración que para poder lograr el objetivo se usa una metodología de tipo aplicada fundamental, de nivel descriptivo y diseño no experimental. La unidad a analizar fue la empresa agroexportadora, y dentro de los principales resultados al realizar la investigación fueron que el sistema actual es de tipo de túnel californiano, con un tiempo de enfriamiento promedio de 13 horas y con temperaturas de enfriamiento de hasta 4°C, así mismo en cuanto a los parámetros de diseño se encontró que la capacidad a refrigerar para el año 2023 será de 133,381 toneladas, distribuidas en 114 cajas y 30 torres dentro del túnel de enfriamiento propuesto, esto asociado a la capacidad, y en cuanto a las temperaturas se debe considerar una temperatura de entrada de 28 °C y salida de -1 °C, luego según los objetivos previstos se determinó que los componentes del sistema propuesto según el análisis constan del uso del refrigerante R-717 (amoníaco), así como un compresor de modelo Bitzer 8FE-60Y-40P, un condensador de modelo Bitzer LH84E/4CES-6Y-40S y un evaporador KUDL016-E2C, finalmente se elaboró el presupuesto para el sistema de refrigeración optimizado, en S/ 976, 452.24 soles.

Palabras Clave: refrigeración, optimización, diseño, evaluación económica

ABSTRACT

The present investigation had as main objective Optimize the refrigeration system, to reduce grape freezing time in a processing plant in Piura, taking into consideration that in order to achieve the objective, a fundamental applied methodology is used, descriptive and design level. not experimental. The unit to be analyzed was the agro-export company, and among the main results when carrying out the investigation were that the current system is of the Californian tunnel type, with an average cooling time of 13 hours and with cooling temperatures of up to 4°C. Likewise, in terms of the design parameters, it was found that the refrigeration capacity for the year 2023 will be 133,381 tons, distributed in 114 boxes and 30 towers within the proposed cooling tunnel, this associated with the capacity, and in terms of In the temperatures, an inlet temperature of 28 °C should be considered and a temperature of -1 °C should be considered, then according to the expected objectives it was determined that the components of the proposed system according to the analysis consist of the use of the refrigerant R-717 (ammonia), as well as a Bitzer 8FE-60Y-40P model compressor, a Bitzer LH84E/4CES-6Y-40S model condenser and a KUDL016-E2C evaporator, Finally, the budget for the optimized refrigeration system was prepared, at S/ 976, 452.24 soles.

Keywords: refrigeration, optimization, design, economic evaluation

I. INTRODUCCIÓN

La agroindustria en el Perú, principalmente en los productos de exportación tienen una gran importancia en el desarrollo interno del país, tal como menciona Hernández (2011), las agroexportaciones mejoraron de US\$ 1,3 mil millones en el 2005 a más de US\$ 5,1 mil millones en el 2015, lo indicó un crecimiento del 280% a una tasa anual de 16% en promedio. Esto de forma tangible se logró evidenciar en las exportaciones de los productos agrícolas tradicionales demostrando que se multiplicaron por tres mientras que los no tradicionales hasta en nueve veces. La estabilidad macroeconómica y la apertura comercial logró la diversificación de la oferta exportable, mientras que los proyectos de irrigación permitirán la incorporación de casi 300 mil hectáreas de cultivos hacia el 2021. En particular, en el grupo de cultivos permanentes destacan el café con 425 mil hectáreas seguidos por el cacao, la palta, la uva, el espárrago y el mango (Larrea, Ugaz, & Flórez, 2018). Para la tendencia creciente de la exportación de uva, las industrias deben adaptarse a los cambios de demanda existentes en el mundo y con esto modificar a nivel técnico-operativo su infraestructura para poder satisfacer dicha demanda y mantener las operaciones activas y alejarse de los incumplimientos de pedidos que conllevan a grandes pérdidas económicas de las unidades productivas, como las que se originan por mermas excesivas dentro del sistema de frío antes de la exportación, así como la devolución de lotes por parte del importador al no cumplir los estándares de calidad sujetos a la cadena de frío en el proceso logístico de exportación.

Dentro de una de las problemáticas existentes identificadas dentro de las empresas agroexportadoras de uva, se identificó el uso ineficiente de sistemas de congelamiento, ya que la uva para conservar su valor nutricional se debe contar con una adecuada red frigorífica. Lo correcto sería de 13° C y 1°C y su humedad, entre el 85 y el 90%. (Torres et al., 2014) otros factores importantes. Tal como menciona Pacheco Callirgos (2020) La temperatura de almacenamiento en frío que debe tener un rango de intervalo límite de -0.5

a -2 °C, considerando técnicamente que las temperaturas no deben llegar fuera de este límite ya que afectaría de forma negativa al racimo de uva, si es que se llegase a una temperatura menor a - 1.6°C se debe revisar las características térmicas de la uva para temperaturas por debajo del punto de inicial de congelamiento y monitoreando que realice de manera rápida. Además, dentro de estos sistemas de enfriamiento la carga adicional que entregan los materiales de envasado o empaquetado. Las condiciones del almacén de frío deberán tener como temperaturas entre -0.5 a -2°C.

En vista de lo expuesto anteriormente, en la problemática, se planteó la siguiente pregunta; ¿En cuánto tiempo se reduce el periodo de congelamiento de la uva, mediante el diseño de un sistema de refrigeración en planta procesadora en Piura?

Como justificación se planteó realizar este proyecto debido a que permitió reducir el tiempo empleado en el congelamiento de la uva que es un factor fundamental en el proceso de exportación, debido que este proceso asegura los estándares de calidad que el importador requiere y las normas técnicas existentes como es la Norma Técnica Peruana [NTP] 011, 012-2005; (PROVID., 2005) así como los estándares de calidad internacional CODEX STAN 255-2007; (STAN, 2022). El cumplimiento de estas normas permite dinamizar la economía interna y la mayor participación en la contribución del crecimiento regional en indicadores de exportación, así mismo a nivel técnico optimizar el tiempo de congelamiento permite aumentar la cantidad de lotes de producto a congelar y con esto aumentar también cantidad a exportar en menor tiempo; cumpliendo con los plazos establecidos, originando mayor atractivo por parte de los clientes existentes y potenciales. Esto permitió desde la perspectiva de unidad productiva (empresa) generar mayores ingresos o utilidades económicas.

Dentro de este contexto se planteó el siguiente objetivo general: Optimizar el sistema de refrigeración, para reducir tiempo de congelado de uva en una planta procesadora – Piura, que se alcanzó con el desarrollo de los siguientes objetivos específicos:

- Describir el sistema actual de refrigeración, mencionando los tiempos de congelamiento de la uva en la empresa.
- Definir los parámetros de diseño del sistema de refrigeración, de acuerdo a los requerimientos de la empresa.
- Seleccionar los componentes del sistema de refrigeración de acuerdo a los parámetros de diseño, contando con los planos y láminas respectivos.
- Elaborar el presupuesto del nuevo sistema de refrigeración.

II. MARCO TEÓRICO

Entre los antecedentes de la investigación encontramos que Silva (2017) indica, que en su tesis doctoral desarrolla un proyecto de minería de datos, cuyo objetivo principal es la optimización energética de una instalación frigorífica del sector industrial agroalimentario. Debido al incremento consumo de energía eléctrica, causado por estas instalaciones dedicadas a las conservas vegetales de la mano con las variaciones de carga; respalda el uso de estas herramientas para potenciar la eficiencia energética. Siendo Su finalidad es identificar propuestas de mejora y contribuir a la reducción del consumo eléctrico y la mejora de la operación y mantenimiento de los sistemas frigoríficos.

Núñez (2021) En su tesis menciona que; “Su presente trabajo, es basado en los procesos de almacenaje y embarque de fruta, donde encuentra problemas durante el proceso; generada por demoras en despacho y almacén lo que genera lentitud en su salida y la fruta se quede varios días ocasionando pérdidas en estas”. Considerando mejorar los controles en las frutas ya terminadas y almacenadas, con la finalidad de dar salida a lo primero que ingresa en planta, evitando que la fruta se quede por más de 5 días. Aparte propone mejorar los controles visuales y sistematizarlos para una mejor fiscalización del tiempo de la fruta almacenada.

Cerros (2016) en su estudio manifiesta que el proceso de los alimentos por enfriarlos y congelarlos es todo complejo. Se debe extraer el calor vulnerable de los alimentos antes de congelarlos para reducir su temperatura a niveles de congelado del alimento. Donde su punto inicial es ligeramente menor, que el nivel de congelado en el agua, pese a los compuestos dados en la humedad del interior de los alimentos. Para un nivel de congelado inicial, parte del agua en su interior de la comida formará cristales y sus compuestos se concentrará, lo que hace que la porción se congele, desde el punto de congelado más lejano.

Florida Reynaga (2021) menciona que su trabajo está orientado a dar como propuesta en respuesta a la demanda de su materia prima, analizando las características técnicas, desde la selección de equipo de refrigeración, asociado a un túnel de congelamiento continuo de 500Kg/h, por esto el autor diseñó un sistema de refrigeración de congelamiento continuo, entre los resultados de las características técnicas del sistema de refrigeración se encontró que la capacidad frigorífica necesaria para poder mantener la características la materia prima de 106.2 kW considerando un factor de seguridad de 10%, entre los componentes necesarios un motor eléctrico de para el sistema de enfriamiento una unidad compresora de HP, un condensador evaporativo de 345 kW de capacidad efectiva, entre los componentes adicionales se consideró un tanque receptor de líquido de 24" de diámetro por 137" de longitud, un tanque termosifón de 10" de diámetro de 60" de longitud, también el investigador menciona que el presupuesto de total de sistema de ,refrigeración para este tipo de túnel diseñado es de S/ 1,570,965.

Hurtado Mamani (2014) menciona que como propuesta se planteó el optimizar el proceso de congelación de la tilapia congelada en bloques e IQF, esto con la finalidad de lograr una máxima calidad. En tal sentido, procedió a diseñar un sistema que cumpla con estos requerimientos evaluando tres temperaturas de congelación (-30, -35 y -40°C), las cuales fueron comparadas en función al coeficiente de transferencia de calor. Después de esta evaluación se procedió a evaluar los componentes físicos considerando en el diseño que los espesores de los productos a congelar no tienen un efecto significativo en relación con el coeficiente de transferencia de calor superficial, el cual se encuentra alrededor de 23 W/m² K. Encontrándose que el mejor espesor para congelar tilapia en IQF es de 1 cm, siendo para el bloque de 10 cm. También se determinó una relación donde se evidencia que entre más baja es la temperatura del equipo congelador se obtienen valores más altos en cuanto al coeficiente de transferencia de calor superficial. Además, de logro determinar que la mejor temperatura de

congelación es de (-35°C).

Valdés León (2010) considera en su investigación diseñar una planta de congelación de alimentos frescos y que este tenga la característica de ser multipropósito. Encontrándose como resultados que la cantidad de energía necesaria para que el proceso de congelación se lleve a cabo es 90578 Kcal/h teniendo como base 1000 kg/h de uva, así mismo la cantidad de nitrógeno necesario se determinó que es 3.04 kg, considerando una T° ambiente de 25° que se llevara hasta -60°, se obtuvo la cantidad de calor que se debe retirar al inicio del proceso de 32.165 Kcal/ g, por otra parte otro facto de perdida fue 0.209 Kcal/m.h, que es la cantidad que se pierde por el tubo con aislamiento por metro lineal de cañería y multiplicado por la longitud del tubo de 15 m se obtuvo un total de 3.15 Kcal/h. Finalmente determinando la rentabilidad de poder instalar este tipo de sistema de enfriamiento diseñado se obtuvo un VAN de \$184621 evaluada con una TMAR de 15%, y el otro indicador de rentabilidad que se encontró fue un TIR de 29%, indicando que es rentable el proyecto.

Pacheco Callirgos (2020) en donde tuvo como objetivo determinar los parámetros óptimos de conservación post cosecha de la uva de mesa, en donde encontró como resultados que se necesita un enfriamiento de aire forzado con velocidades entre 2.0 a 3.5 m/s, 90 a 95% de humedad relativa y temperatura final de la uva de -0.5 a -2°C. Para las condiciones de almacén refrigerado, velocidades de 0.2 a 0.5 m/s, temperaturas de -0.5 a -2°C, con humedad relativa entre 90 a 95% de humedad relativa, además de un tratamiento periódico de S2 para el control fungicida. Por otra parte, se determinó que usar bolsas de polietileno o envases rígidos de polietileno (clamshell) estará relacionado con las prestaciones de la instalación. Por otro lado, el uso envases rígidos de polietileno (clamshell) favorecen a un menor tiempo de enfriamiento que usar bolsas de polietileno. Todos estos requerimientos y características técnicas son fundamentales al determinar las condiciones de funcionamiento de los enfriadores con circulación de aire forzado. Al analizar el tiempo de enfriamiento de las uvas Red Globe se obtuvo 7 horas y 36 minutos de enfriamiento de las uvas de 30°C a -2°C a

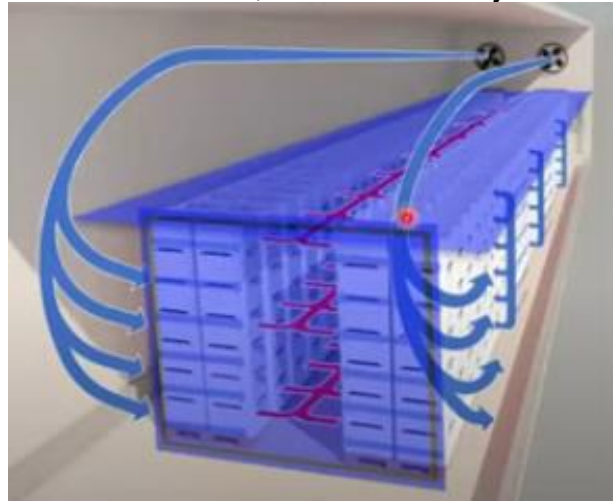
una temperatura ambiente de -15°C y una velocidad del aire de 2,0 m/s. Crisanto Flores (2018) La presente investigación tiene como objetivo realizar un estudio comparativo de los costos de operación del túnel de enfriamiento continuo con el sistema de enfriamiento californiano (sistema clásico) en el proceso de empaque de uva. Los resultados de la investigación dieron evidencia que el sistema continuo da un costo de S/20.3 por tonelada para enfriar el producto mientras que para el sistema de túnel californiano el costo es de S/ 30.5 por tonelada, siendo la diferencia representativa de 42.8%, así mismo se demostró que el sistema de enfriamiento continuo es más eficiente en un 104.3% asociado al retiro de carga térmica, también se encontró que para el sistema continuo el tiempo excede el 10% del promedio y para el sistema californiano exceden en 8,33% en promedio. Finalmente se encontró el costo de operación siendo el de sistema continuo de S/ 648 y el del sistema californiano de S/ 670.

En cuanto a las bases teóricas cabe mencionar que los sistemas de enfriamiento, la industria de (Friopacking, 2020); indica para los túneles californianos o conocido como túnel rápido de enfriamiento son de mayor uso en el Perú; su deber es enfriar el producto más rápido ya que posee un sistema con mayor capacidad y presión de aire que en una cámara de enfriamiento.

Estos túneles son diseñados en condiciones al volumen que desea enfriar, con capacidades de 40, 20 y 10 pallet; el más usado es el de 20 pallets. Consta de estos elementos: ventiladores, evaporadores, válvulas, condensadores, compresor, condensador evaporativo, ductos de succión y descarga y un chasis de acero para soportar al evaporador. (Friopacking, 2020).

Figura 1

Túnel californiano, dirección del flujo de aire.



Nota: Imagen obtenida de página web “Grupo Friopacking” (Friopacking, 2020).

Así mismo la empresa (Friopacking, 2020) menciona que el sistema de enfriamiento continuo considerado un sistema distinto al californiano, pese a que constan con el mismo propósito de enfriar la fruta a la temperatura óptima, y estos indicadores difieren dependiendo de la fruta que se enfría; brinda otros beneficios, como lograr una temperatura de enfriamiento uniforme, menos pérdida de humedad de la fruta, la máxima utilización de la capacidad del intercambiador de calor y un tiempo de enfriamiento reducido.

Túnel de refrigeración con entrada y salida; La fruta se envasa en cajas de 8,3 kg (incluido el peso seco), que se transportan de forma continua sobre rieles mecánicos enfriados directamente a lo largo del túnel, evitando cualquier interferencia térmica (del material de empaque y los contenedores), asegurando un enfriamiento uniforme.

Figura 2

Túnel con sistema continuo; lado izquierdo para ingreso completo de palets; lado derecho ingreso por jabs individuales.



Nota. Imagen obtenida de página web (ILERFRED, 2021).

Por otra parte, en cuanto a las condiciones de almacenamiento en frío de la uva (ASHRAE, 2018) que la pérdida de agua en la uva es uno de los efectos que se aprecian en la decoloración y deshidratación del racimo de la uva y ocurre cuando la uva pierde de (1 a 2) % de agua en masa. Pero si pierde de (3 a 5) % de agua la pulpa pierde su textura. Mientras que el cuarto de almacenaje en frío estará por debajo con humedad relativa de (90 a 95) %. Su temperatura recomendada es de (-1°C), entre otras temperaturas de (-1.7°C a -2.0) °C no se han presentado problemas (ASHRAE, 2018). Siendo las temperaturas en los almacenes baja su velocidad estará entre (0.5 – 0.1) m/s; pero si están embolsadas se deben aumentar de (0.2 – 0.3) m/s, facilitando el calor dado de la respiración.

Características técnicas de los materiales en la cámara de refrigeración

Estas son algunas características técnicas de los materiales empleados en las cámaras de frío.

Tabla 1*Características de los materiales utilizados en las paredes.*

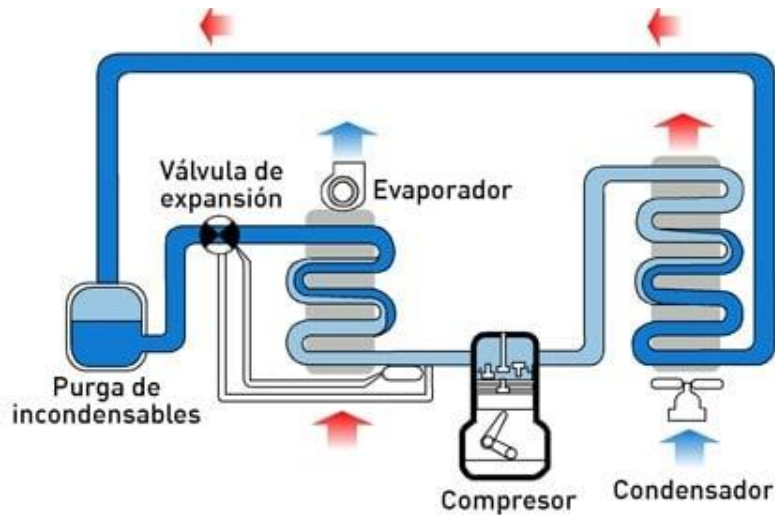
Material	Conductividad térmica (W/m. K)
Aluminio	237
Paneles de poliuretano expandido	0.027
Paneles de poliestireno expandido	0.157
Vidrio	0.7

Nota. Datos extraídos del libro de (Cenyel, 2006) de tabla 2.4 y (Yunus - Cenyel, 2004) tabla A-6.

Ciclo de refrigeración en el sistema

Se refiere al ciclo de refrigeración, una serie de pasos y procesos repetidos; debido a la contribución de la gráfica de entalpía de presión de líquido, es útil definir un ciclo de refrigeración donde el refrigerante líquido se encuentra en algún punto en un estado de vapor sobrecalentado a baja presión cuando sale del dispositivo. Cuando se comprime, el trabajo ingresa al sistema, lo que resulta en un aumento en la presión de salida. Continúa en estado de vapor sobrecalentado, pero a alta presión y alta temperatura, seguido de condensación. Aquí, el calor se elimina del sistema y el refrigerante se encuentra en un estado líquido sobre enfriado. Además, en el condensador, el intercambio de calor ocurre en tres etapas: en la primera etapa, el calor sensible se libera a presión isostática, pasando por el líquido de vapor sobrecalentado a vapor saturado; luego, el líquido sufre una transformación de fase en modo isotérmico isobárico para finalmente completar el enfriamiento a alta presión en estado líquido subenfriado. El fluido debe perder presión y temperatura para volver al sistema de baja presión. Para ello, el refrigerante pasa por un dispositivo de expansión donde el líquido es una mezcla de líquido y vapor. La evaporación completa el ciclo. En esta fase, el líquido absorberá calor provocando una transición de fase. El refrigerante se sobrecalienta antes de reiniciar el ciclo, evitando la presencia de líquido en el compresor.

Figura 3
Ciclo de refrigeración.



Nota. Imagen obtenida de página web (Froztec, 2018)

Refrigerante en el sistema

El sector agroindustrial y el gran comercio se ven hasta ahora muy satisfechos con el amoníaco, aun siendo tóxico. Como ventaja del amoníaco en otros refrigerantes, bajo costo, alto COP (coeficiente de desempeño), (por tal, menor costo de energía), por lo tanto, mejores propiedades termodinámicas y transporte más favorable, y por lo tanto mayor coeficiente de transferencia de calor (requiere un intercambiador de calor más pequeño y económico), mayor detección en caso de fugas y no afecta la capa de ozono; (Ulloa., 2012) .Gran desventaja del amoníaco es su toxicidad, no adecuado para el uso doméstico. El amoníaco es usado en la mayoría de construcciones de frío para alimentos por preservar las frutas frescas, vegetales, carnes y pescado; la refrigeración de bebidas y productos lácteos como la cerveza y el vino, la leche y el queso; el congelamiento de helados y otros alimentos; la producción de hielo, y la refrigeración a baja temperatura en las industrias farmacéutica y otras; (Cengel, 2019).

Relacionado a los cálculos del sistema de enfriamiento o congelación el autor (Ponce, 2010) menciona que este cálculo se basa en el calor extraído de la fruta, calores producidos por respiración, por los motores de los ventiladores

y el calor presente en las paredes. Sistema basado en un enfriamiento de (08 h).

Así mismo (Ponce, 2010) indica que Cargas térmicas totales en sistema de túnel continuo indica que este sistema se representa por la sumatoria de todas las cargas térmicas calculadas, dadas tras la ecuación:

$$Q_T: Q_U + Q_{Rem} + Q_{MV} + Q_{TP}$$

Dato:

Se le sumará un 10%, al valor total de las cargas totales, como medida de seguridad ante una futura mejora o incremento de cargas.

$$Q_T: Q_T + 10\%$$

Tabla 2
Resumen de las cargas térmicas totales.

Cargas térmicas del sistema continuo	
Cargas térmicas	símbolo
Para quitar el calor en la uva	Q_U
Calor por respiración de la uva	Q_{Rem}
Calor en los ventiladores	Q_{MV}
Calor transmitido por paredes	Q_{TP}
Cargas térmicas totales	

Nota. Cuadro resumen elaboración propia.

En cuanto al sistema por túnel californiano (Ponce, 2010) menciona que es el sistema más empleado en la industria, por disminuir temperaturas en frutas y hortalizas a (0 °C). También expresa que el cálculo para quitar el calor de la uva tiene un tiempo real de enfriamiento de las uvas varía entre 9 y 13 horas, para este sistema.

El calor a quitar de la uva se detalla en la siguiente ecuación:

$$Q_U = \left[\frac{M_f * C_f * (T_e - T_s)}{t} \right]$$

Donde:

- Q_U :Calor por remover de la uva (Kcal/h).
- M_f :Flujo másico de la uva (Kg/h).
- Volumen de uva=(20*112*8,3)=18592 Kg.
- C_f : Calor específico de la uva (kJ/Kg.°C).
- T_e :Temperatura de entrada de la uva (°C).
- T_s :Temperatura de salida de la uva (°C).
- t :Tiempo de enfriamiento (h).

En cuanto al calor a quitar por caja se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{qc} = \left[\frac{M_f * C_{Ec} * (T_e - T_s)}{t} \right]$$

Donde:

- Q_{qc} :Calor por remover de las cajas (Kcal/h).
- C_{Ec} :Calor específico de la caja (Kcal/Kg.°C)
- M_f :Flujo másico de la uva (Kg/h).
- T_e :Temperatura de entrada de la uva (°C).
- T_s :Temperatura de salida de la uva (°C).
- t :Tiempo de enfriamiento (h).

Así mismo el calor por las infiltraciones se desarrolla la siguiente ecuación:

$$Q_I = V * A_{ext} * \Delta T$$

Donde:

- Q_I :Calor por infiltración (Kcal/h).
- V :Coeficiente global de transferencia.
- A_{ext} :Área exterior
- ΔT :Variación de la temperatura.

También (Ponce, 2010) indica que para calcular las cargas térmicas por renovación de aire con la siguiente ecuación:

$$Q_{RA} = V * \rho * \left(\frac{1}{Renv.h}\right) * C_p * (T_e - T_I)$$

Parámetros:

- Q_{RA} : Calor por renovación del aire al día (Kcal/h).
- V : Volumen de la cámara (m^3)
- C_p : Calor específico en la uva (Kcal/Kg °C)
- T_e : Temperatura exterior (°C).
- T_I : Temperatura interior (°C).

Para calcular el calor brindado por las personas se aplica la siguiente ecuación:

$$Q_{Bp} = \left(\frac{Q * N * T}{T}\right)$$

Donde:

- Q_{Bp} : Calor brindado por las personas (Kcal/h).
- Q : Calor emitido en las personas (Kcal/h).
(Para 1 persona promedio 120 (Kcal/h); dato extraído de (Cenyel, 2006), libro en tabla 1.7.
- N : Número de personas (1).
- T : Tiempo de trabajo en horas al día (08 h).

$$Q_{AL} = \left(\frac{Q}{T}\right)$$

Donde:

- Q_{AL} : Calor aportado por las luminarias (Kcal/h).
- Q : Calor emitido de luminarias (Kcal/h).
1 W: 0.86 (Kcal/h)
P: 2400 W.
- T : Tiempo de luminarias encendidas en el día.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Por lo descrito, la presente investigación es de tipo Aplicada, ya que utilizo la ciencia y sus conocimientos teóricos fundamentales, para dar solución a un problema y que este tenga una repercusión a mediano o corto plazo en la sociedad para su beneficio, para este caso el mejoramiento mediante la optimización del sistema de refrigeración tiene un beneficio técnico al reducir el tiempo de congelado a partir del fundamento teórico de sistemas de refrigeración aplicado a una unidad productiva en el entorno real.

Por las características del estudio es No Experimental, debido a que no hubo ninguna manipulación de sus variables, ni entorno de experimentación relacionado, además tuvo un carácter transversal descriptivo, debido a que se hizo en un periodo de tiempo determinado, describiendo las características técnicas que optimizan el sistema de refrigeración.

3.2 Variables y operacionalización

Variable Independiente

Optimización de los sistemas de refrigeración.

Variable Dependiente

Tiempo de congelado de uva en una Planta Procesadora – Piura

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Dentro de las técnicas con las que se evaluó la presente investigación se consideró la observación respecto al comportamiento de los sistemas de enfriamiento tanto de túnel continuo como de túnel californiano con sus respectiva guía de observación, así mismo para la comparación y análisis teórico de los parámetros de funcionamiento se hizo uso de la documentación de los respectivos sistemas de enfriamiento mencionados anteriormente teniendo como instrumento la ficha de registro o fichas de especificaciones técnicas de los sistemas.

Tabla 3

Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Técnicas	Instrumentos
Observación	Guía de observación
Análisis documental.	Fichas de registros. Fichas técnicas.

Nota. Elaboración propia data de la empresa.

3.4. Procedimientos

Para ejecutar el proyecto se realizaron estos pasos que se dan a continuación:

- Paso 01: Realizar el diagnóstico inicial del sistema de congelamiento actual mediante una guía de observación de acuerdo a los tiempos de congelamiento, así como las condiciones técnicas adicionales para su funcionamiento incluyendo el consumo de energía y periodos de congelamiento de la uva.
- Paso 02: A partir de los datos tomados en el paso 1 y el análisis de requerimientos para el congelamiento de uva, se evaluó cuáles son los requerimientos de optimización, principalmente de los tiempos de congelamiento como principal variable para conocer el conjunto de parámetros de optimización relacionados, esto con la finalidad de

representar en diagramas y diseños de ingeniería que resuman el proceso de optimización.

- Paso 03: Esquematizar y describir de forma técnica los pasos que se deben llevar a cabo para la optimización del sistema de enfriamiento para cumplir con los requerimientos de del producto, considerando los elementos descritos en el paso 03.
- Paso 04: Elaborar el presupuesto en relación al sistema de refrigeración optimizado.

3.6. Método de análisis de datos

Para el análisis de datos tomados de la búsqueda del sistema óptimo para cumplir con los estándares de conservación de la uva se usaron hojas de cálculo simples para ordenar y procesar la información, de manera metódica y que de respuestas a los objetivos de la investigación. Por otra parte, se hizo uso de programas de diseño CAD para definir la lista de requerimientos tecnológicos usados para el diseño del sistema optimizado.

3.7. Aspectos éticos

El investigador del presente proyecto, presenta todos los datos, métodos, tipos y resultados de cálculos auténticos ya que se usó herramientas y técnicas de ingeniería que aseguran la fiabilidad de los resultados, además el documento fue desarrollado sin cometer plagio como parte del principio de respeto al ámbito científico en búsqueda de proyecto que tengan un aporte real a la sociedad, así también, proteger la identidad de las personas de la empresa como parte del principio de respeto.

IV. RESULTADOS

4.1. Diagnóstico actual del sistema de enfriamiento

4.1.1. Descripción del sistema de enfriamiento californiano

El sistema actual de enfriamiento de uva en la empresa agroexportadora es un sistema californiano que tiene una capacidad entre 10 a 20 pallets, para el caso del sistema usado en la empresa exportadora de uva, se usa la configuración de 20 pallets debido a las dimensiones de los mismos a la estructura mostrada en la Figura 4, esto ayuda a optimizar el enfriamiento de la uva al colocar en línea paralelas los pallets para que el aire frío recorra los costados de la cámara de enfriamiento y en la parte central de la cámara dejar un espacio de igual a 10 pallets para que el aire sea removido por serpentines del evaporador obligando a generar una presión negativa que enfría el aire hasta 4 ° C o 0° C, los cuales proporciona para que la uva no rompa con los estándares necesarios de calidad, la misma que debe tener las características mostradas en la Tabla 4; para entrar al proceso de enfriamiento:

Tabla 4

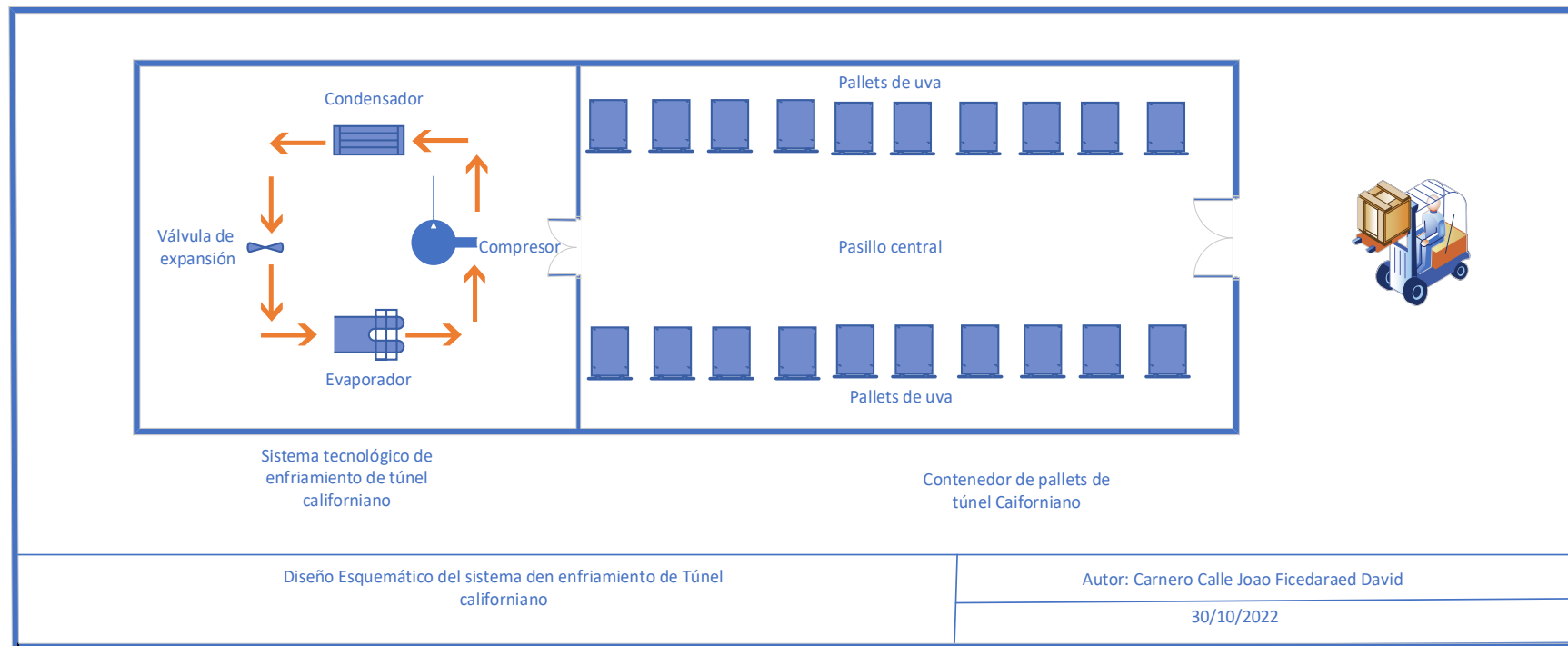
Características de la Uva que entra a túnel de enfriamiento.

<i>Propiedades de la Uva que entra al sistema de enfriamiento californiano</i>		
Parámetro	Valor	Unidad
Humedad ideal de aire	90 - 95	[%]
Tasa de respiración	2,8	[mW/ Kg]
Punto de congelación	-2,1	[°C]
Calor Especifico	0.86	[Kcal/ Kg °C]
Conductividad	0.548	[W/ m° K]

Nota. Datos obtenidos de. (ASHRAE, 2018) "Methods of precooling fruits, vegetables and cut flowers".

En la Figura 4; se muestra el proceso de interacción entre el sistema de enfriamiento para que cumpla su función en relación con el producto.

Figura 4
Diseño esquemático del sistema de Túnel de enfriamiento californiano.



Nota. Esquema extraído de la empresa agroexportadora.

Considerando las condiciones mencionadas de la uva anteriormente y el esquema de interacción del sistema de enfriamiento californiano esquematizado en la Figura 4, las características de producción que este sistema está entregando actualmente a la unidad productiva son las mostradas en la Tabla 5:

Tabla 5
Parámetros del sistema de Túnel de enfriamiento.

Parámetro	Valor
Peso	18900 kg
T° de entrada de la uva	28 °C
T° de salida de la uva	4° C
Tiempo teórico de enfriamiento	13 horas
Área de la cabina de enfriamiento	320 m ²
Calor específico de la uva kcal/kg ° C	0,93 kcal/kg °C
Calor específico de cajas	0,3200535 kcal/kg °C
Velocidad de aire en el túnel	0.2 [m/s]

Nota. Datos obtenidos de la empresa agroexportadora.

Para obtener una estimación más precisa del tiempo de enfriamiento se hizo uso del sistema de termometría que tiene la cámara de enfriamiento californiano durante 5 días mostrados en la Tabla 6:

Tabla 6
Datos sobre tiempo de enfriamiento en el túnel californiano.

Día de toma de datos	Tiempo [horas]
1	13
2	13
3	12.7
4	12.8
5	13
Promedio	12.9

Nota. Datos obtenidos del sistema de termometría de la empresa en estudio.

Con esta verificación empírica se logra comprobar que el tiempo teórico si se cumple y es aproximadamente el mismo del obtenido en la operación real de enfriamiento, por lo cual en los datos del cálculo de cargas de este

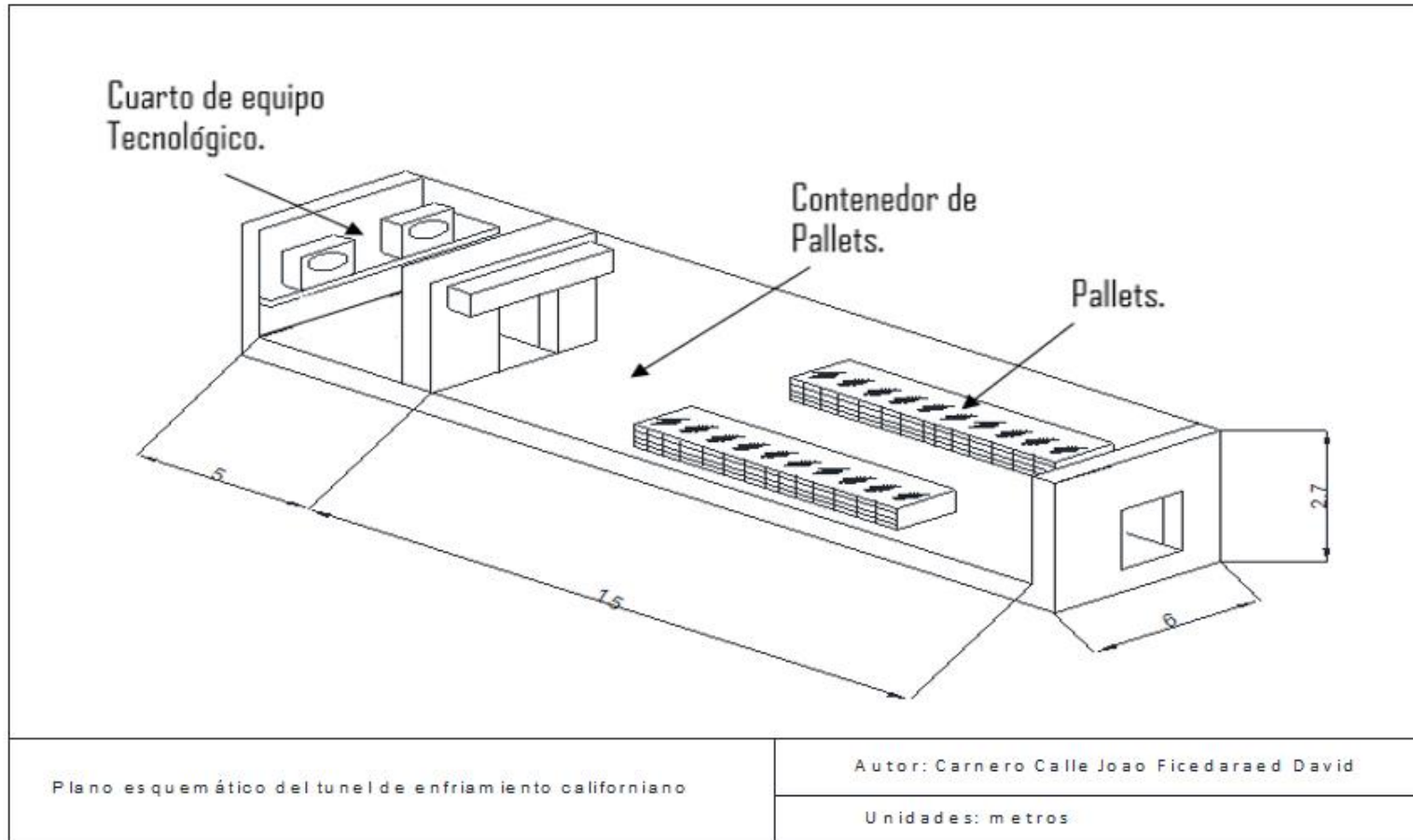
sistema se tomó en cuenta el valor representativo teórico.

Luego de haber obtenido los parámetros de enfriamiento que se ajustan a las condiciones del producto se consideró mostrar el dimensionamiento físico del sistema de túnel californiano para identificar la estructura actual, esto se muestra en la siguiente Figura 5:

En la Figura 5; se detallan las áreas de cada espacio utilizado en el cuarto de frío en donde tenemos:

- Cuarto de equipo tecnológico, la cual mantendrá todos los elementos de refrigeración como condensadores, evaporadores, ventiladores y válvulas de expansión; para seguir quitando el calor de la uva de mesa.
- Contenedor de pallets; es el área destacada de 15 x 06 x 2.7 metros, la cual se mantendrá a cierta temperatura y en donde se albergará la uva en pallets.
- Pallets, son las torres que contienen las cajas que ya están llenas de uva de mesa y estas empaquetadas, esperando el contacto del flujo de aire para extraerles el calor.

Figura 5
Plano esquemático del túnel de enfriamiento californiano.



Nota. Dimensionamiento del túnel californiano actualmente.

4.1.2. Características Térmicas actuales en el sistema de túnel californiano

Mediante la revisión de datos históricos, como fichas de registro y fichas técnicas extraídas del sistema de refrigeración se encontró la siguiente información:

4.1.2.1. Calor por remover de la uva

Es la característica principal de eliminar el calor en la uva refrigerada para bajarla al nivel deseado y contenerla hasta su destino.

$$QF = \text{Peso} * \text{calor específico} * \text{variación de } T^{\circ}$$

$$QF = \text{Peso} * C_{pf} * (T_e - T_i)$$

$$QF = 421\,848 \frac{\text{Kcal}}{h}$$

4.1.2.2. Calor a Remover de las cajas

Se extrae el calor de toda la base que soporta el peso de la uva en este caso las cajas de cartón con la finalidad de mantener en un solo rango de temperaturas adecuadas a la de la uva.

$$Q_c = \frac{mf \cdot C_e(T_e - T_i)}{T}$$

$$Q_c = 679.49 \frac{\text{Kcal}}{h}$$

4.1.2.3. Carga de calor por infiltraciones de calor

Se presentan calores a través de las paredes, así, como en los materiales de los muros y el cielo, hechos de poliestireno expandido; el cálculo de calor está acorde a las temperaturas exteriores, interiores, el área del túnel y su coeficiente de transferencia considerado en la Tabla 7:

Tabla 7*Coeficientes de transferencia por tipo de cámara.*

Tipo de Cámara	Coeficiente Global de Transferencia U (Kcal/h.m ² °C)
Grandes Cámaras de conservación	0.1
Cámaras al detalle	0.25
Cámaras de restaurantes, etc.	0.40

Nota. Donde el coeficiente global de transferencia escogido es 0,1 kcal/h.m². °C por tratarse de un sistema, datos obtenidos de (ASHRAE, 2018).

$$QT = V * S * \Delta T$$

$$QT = 960 \frac{Kcal}{h}$$

4.1.2.4. Carga térmica por renovación de aire

Cuando se abren las puertas en el túnel, el aire exterior ingresa a la zona refrigerada, ingresando con cierta temperatura y humedad relativa las cuales deben mezclarse con las mismas condiciones internas provocando un incremento de su carga térmica la cual debe absorber el sistema, en tal sentido se considera la tabla 8 para los cálculos.

Tabla 8*Densidad del aire según la altura.*

Altitud m	Mínimo kg/m ³	Promedio kg/m ³	Máximo kg/m ³
0	1,1405	1,2254	1,3167
305	1,1101	1,1886	1,2735
610	1,0812	1,1533	1,2302

Nota. Para efectos de cálculo se tomó un valor promedio a 305 m (altitud), debido a la cercanía de Piura (msnm).

Datos extraídos del libro de (Cenyel, 2006).

$$QA = V * \rho * \left(\frac{1}{Renv. h} \right) * C_p * (Te - Ti) °C$$

$$QA = 10\ 611.82\ Kcal/h$$

4.1.2.5. Calor aportado por la iluminación

Para hallar el calor que generan las iluminaciones en el túnel de enfriamiento californiano se toman ante la falta de otras maneras de iluminación, el desarrollo de lámparas LED, consumiendo solo una parte de una lámpara fluorescente y 10 veces menor a las incandescente, su luminosidad no se ve afectada con la temperatura, agregando carga térmica casi nula, mientras más frías se encuentren estas lámparas, mayor vida útil tendrán. Se usarán los 5 reflectores de 400 W dando en total 2000W, con esto calculamos las pérdidas de calor por iluminación, se tomó (1 h), como consumo con valor de 1kw (0.86 Kcal/h):

$$Q_{ilum} = P * 0.86 \left(\frac{Kcal}{h} \right)$$

$$Q_{ilum} = 1720 \frac{Kcal}{h}$$

4.1.2.6. Suma de cargas térmicas

Es la sumatoria de todas las cargas térmicas calculadas en el sistema, como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9
Resumen de cargas térmicas del sistema.

Tipo de carga	Abreviación	Kcal
Calor de Iluminación	Q_{ilum}	$1720 \frac{Kcal}{h}$
Calor por renovación de aire	Q_{aire}	$10611.82 \frac{Kcal}{h}$
Calor de cajas	Q_C	$679.49 \frac{Kcal}{h}$
Calor de la uva	Q_F	$421848 \frac{Kcal}{h}$
Calor por infiltración	Q_T	$960 \frac{Kcal}{7h}$
Q total		$435,819.31 \frac{Kcal}{h}$

Nota. Cargas térmicas totales por hora de refrigeración.

4.1.3. Costos asociados al sistema de Túnel Californiano

4.1.3.1. Costos de consumo energético

El consumo de energía de los diversos aparatos eléctricos que componen el sistema de refrigeración Californiano se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10

Consumo energético del túnel de enfriamiento californiano.

Suma de consumo eléctrico de túnel californiano					
Item	Descripción	Cantidad	Potencia (hp)	Total, de hp	Total, de kW
1	Ventiladores	2	10	20	14.92
2	compresor	1	75	75	55.95
3	Bomba del condensador	1	1.5	1.5	1.12
4	Bomba de amoniaco	1	5	5	3.73
5	Ventilador del condensador	2	2.5	5	1.5
6	Luminarias reflectivas		35.5 watts		0.0355
Total					77.2555

Nota. El consumo es en kW, kilowatts.

El consumo energético (C_e) está relacionado en función con el consumo en kilowatt y el costo del mismo orientado a la tarifa eléctrica estándar que para la zona en donde la unidad productiva desarrolla sus actividades es de s/ 0.2502.

$$C_e = C_w \times C$$

$$C_e = S / 251.28$$

4.1.3.2. Costos de mantenimiento

Dentro de las actividades de mantenimiento que se considera para describir los costos asociados se tienen las expresadas en la Tabla 11.

Tabla 11*Tareas de mantenimiento desarrolladas en el túnel californiano.*

Actividades de mantenimiento		
Item	Descripción	Ubicación
1	Retirar el óxido del chasis	Túnel californiano
2	Pintar con anticorrosivo	
3	Bomba de amoniaco	
4	Verificar la puerta	
5	Verificar los ventiladores	
6	Retirar el óxido del chasis del evaporador	Condensador evaporativo
7	Pintar con anticorrosivo	
8	Revisar motobomba	
9	Revisar los serpentines	
10	Revisar los ventiladores	Compresor
11	Retirar el oxido	
12	Pintar con anticorrosivo	
13	Cambio de aceite	
14	Inspección de pistones, biela, anillos, empaquetaduras, etc.	Sala de maquinas
15	Revisar las válvulas, motores del circuito	
16	Revisar los estanques de NH3	
17	Revisar los ductos succión y descarga	
Total, de horas - Hombre		364 horas

Nota. Se verificó cada actividad según las fichas técnicas que abarcan el sistema de refrigeración. NH3 = Amoniaco (refrigerante).

Costo total en soles está relacionado por la cantidad de horas empleada y un promedio de costo de recurso humano por hora en las labores de operación, donde el costo por hora es: S/ 18.30 / hora, con base a un sueldo de S/ 1800 soles.

$$CMA = \text{Horas hombre} * \text{Costo por hora}$$

$$CMA = 364 h * \frac{s/18.30}{h}$$

$$CMA = \frac{S/6661.2}{80 \text{ (operaciones consideradas en planta)}}$$

$$CMA = S/ 83.27$$

4.1.3.3. Costos de mano de obra

Mano de obra para el túnel californiano se expresa en 4 especialistas los cuales trabajan 8 horas al día y su costo asociado está relacionado con un costo de S/1800 que es el promedio de pago por servicios, reflejado en la Tabla 12.

Tabla 12

Resumen de costos de mano de obra.

Personal. Túnel californiano					
Item	Descripción	cantidad	Horas	Costo / h	Total
			por turno		
1	Técnico electricista	1	8	S/ 4.02	S/ 32.16
2	Montacarguista	1	8	S/ 4.02	S/ 32.16
3	Frigorista	1	8	S/ 4.02	S/ 32.16
4	Supervisor	1	8	S/ 4.02	S/ 32.16
Total					S/ 128.64

Nota. El total es obtenido de la data de la empresa.

El costo de operar un túnel Californiano se calcula usando la siguiente ecuación.

$$COP = CMO2 + CMA2 + CE2$$

Donde:

CMO= Costo de mano de obra del sistema californiano.

CMA =Costo de mantenimiento del sistema californiano.

CE = Costo de consumo energético del sistema californiano.

$$COP = S/463.19$$

4.1.4. Costo por tonelada de producto terminado

Conociendo el costo de operación del túnel californiano y considerando que las toneladas que ingresan de acuerdo a la capacidad del sistema son 18.9 Toneladas, se procedió a calcular el costo de operación por tonelada, lo cual nos servirá como indicador del sistema actual de enfriamiento californiano en comparación con el sistema optimizado que se describirá en los siguientes apartados de esta investigación.

$$\text{Costo} = \frac{COP}{\text{Tonelada del sistema}}$$

$$\text{Costo} = \frac{S/ 463.19}{18,9 \text{ Toneladas de uva}}$$

$$\text{Costo} = \frac{S/24.51}{\text{Tonelada de uva}}$$

Lo que indica que por cada tonelada de uva se tiene un costo total de operación de S/24,51 considerando los gastos energéticos, gastos de mantenimiento y gastos de mano de obra.

4.2. Definición de los parámetros de diseño del sistema de refrigeración a optimizar

4.2.1. Parámetros de la capacidad del sistema de enfriamiento a partir de las necesidades del mercado.

Para determinar los requerimientos técnicos que se usaron en la optimización del sistema de enfriamiento se evaluó las necesidades en cuanto a la demanda potencial que el mercado requerirá en los siguientes años, por lo que se analizó la demanda que ha tenido el mercado, frente a la producción de uva en Piura, encontrándose por medio del informe de (Banco Central de Reserva del Perú, 2020) los siguientes datos en la tabla 13:

Tabla 13
Data Histórica de Producción de Uva en Piura.

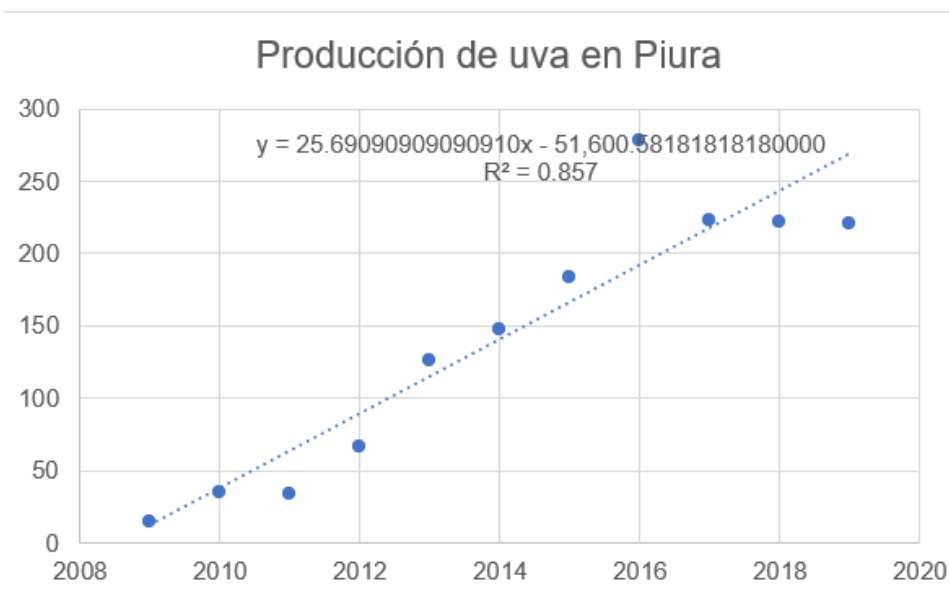
Año	Producción de uva en Piura (Miles de toneladas)
2009	15
2010	35
2011	34
2012	66
2013	126
2014	147
2015	183
2016	278
2017	223
2018	222
2019	221

Nota. Dato obtenido de (Banco Central de Reserva del Perú, 2020).

A partir de esta data histórica se procedió a hacer la proyección mediante un modelo de regresión lineal en los siguientes años contemplando 5 años a partir del 2022, que es el periodo de evaluación de la presente investigación, en donde el coeficiente de determinación fue de 0.82 mayor a otros modelos, así se muestra la línea de tendencia en la Figura 6.

Figura 6

Grafica de dispersión y línea de tendencia de producción de Uva en Piura.



Nota. Datos calculados mediante programa Excel con información del (Banco Central de Reserva del Perú, 2020).

A partir de la función lineal encontrada se procedió a generar la proyección hasta el 2027, año en donde se cumplen 5 años de proyección, tal como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14

Proyección de Producción de Uva.

Año	Producción de uva en Piura (Mt)
2023	372
2024	398
2025	424
2026	449
2027	475

Nota. Mt= miles de toneladas.

Conociendo que la empresa atiende 18.9 toneladas por túnel de enfriamiento que representan en conjunto los 6 túneles un 36% de la producción anual de uva en Piura se logró determinar el número de toneladas por túnel de enfriamiento según la proyección antes descrita, observando los totales que se representan en la Tabla 15; para los 5 años siguientes.

Tabla 15*Toneladas por túnel de enfriamiento estimado.*

Año	Toneladas producidas en la empresa	Toneladas por túnel de enfriamiento
2023	133.381	22.23
2024	142.590	23.77
2025	151.798	25.30
2026	161.007	26.83
2027	170.215	28.37

Nota. Proyección a 5 años.

Por lo tanto, la capacidad en toneladas que debe tener el sistema optimizado se determinó para el año 2023 un total de 22.23 toneladas y para el año 2027 un total de 28.37 toneladas de uva para exportar.

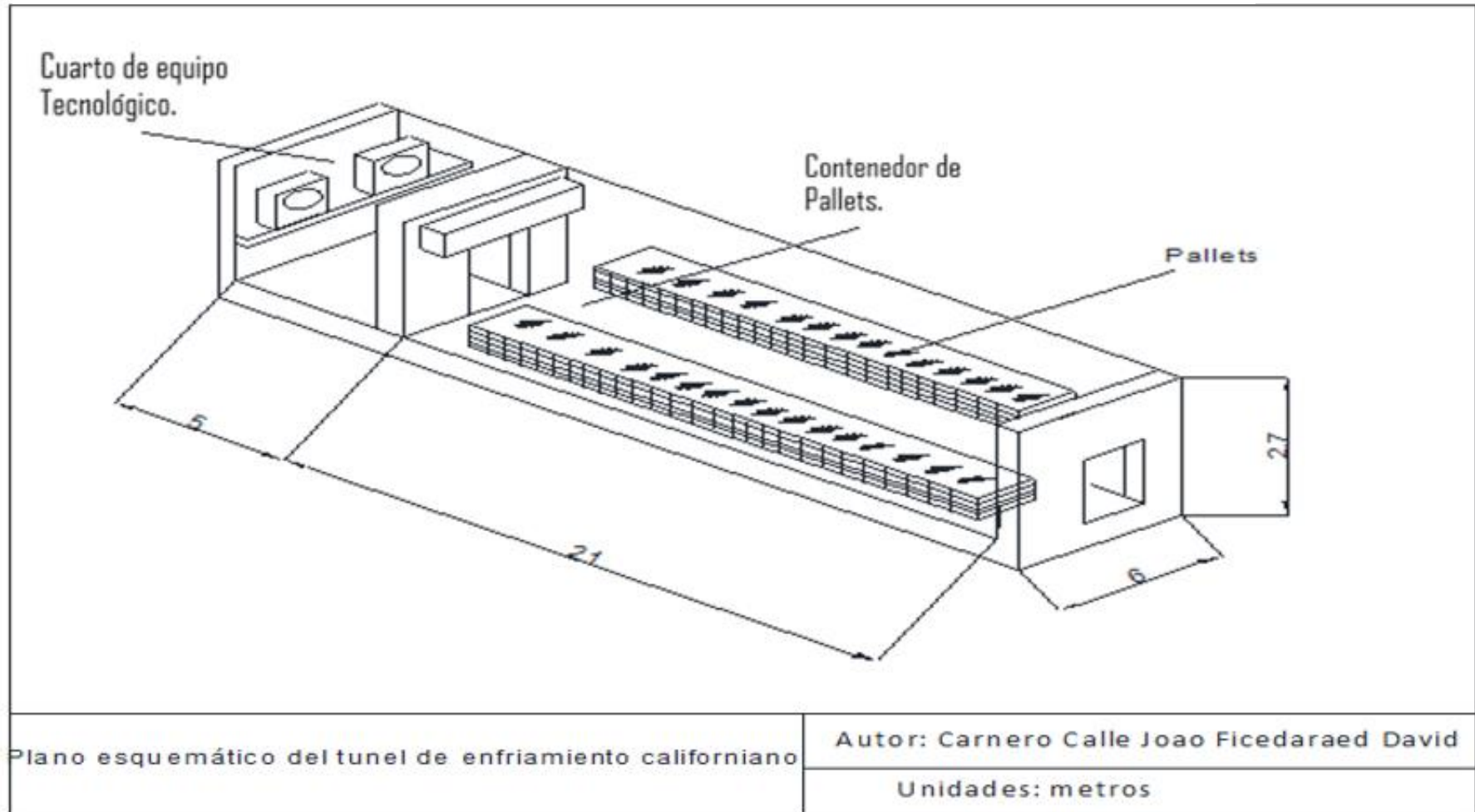
4.2.2. Aspectos de infraestructura física

En el aspecto de infraestructura, debido a la demanda en los próximos años se necesita ampliar el espacio dedicado al sistema de refrigeración y por ende remodelar el túnel de refrigeración actual; ampliando el área de carga para conseguir un mayor volumen de uva a exportar. Entonces en coordinación con la empresa y el espacio por capacidad se está llegando a que las nuevas dimensiones del túnel de refrigeración sean las siguientes, vistas en la Figura 7.

En relación a la Figura 5, los nuevos parámetros de diseño que se observan en la Figura 7; son diferentes, con el fin de optimizar el sistema de refrigeración se obtiene un incremento longitudinal en el área del contenedor de pallets de 06 metros.

Figura 7

Plano esquemático del túnel de enfriamiento californiano.



Nota. Dimensionamiento del túnel californiano debido a la demanda y necesidades de la empresa agroexportadora.

4.2.3. Parámetros térmicos

Se necesitan las siguientes consideraciones:

Empaquetado, dimensiones y peso.

- Cada caja de cartón tiene como dimensiones 50,5 cm Ancho: 40 cm y 12 cm de Altura.
- Cada torre de cajas que entra al túnel de enfriamiento tiene en la base 6 cajas y de altura 19 cajas.
- Cada parihuela tiene como dimensiones 100 cm x120 cmx10 cm
- Cada caja puede contener 8.2 Kg.

Para evitar la pérdida de uvas de mesa ya sea en el empaquetado, refrigerado y traslado; así mismo por temas de seguridad, se siguen ciertos estándares y normas establecidas como hace mención (Palacios, 2018); por otro lado, las normas peruanas respaldan estos estándares como la Norma Técnica Peruana “NTP 011.012: 2021 Uva de mesa”. (inacal, 2021).

Capacidad del contenedor de pallets.

- 22,230 kg para el año 2023. (Dato extraído de Tabla 14)
- 28,370 kg para el año 2027.
- Estimación de 3460 cajas atendidas.

Considerando que cada torre contiene 114 cajas el total de torres será de 30, según los detalles anteriormente mencionados se requiere 10 torres adicionales dispuestos en 2 columnas paralelas por lo que teniendo en cuenta que la parihuela tiene una dimensión de base de 1.2 metros se requerirán como mínimo 6 metros adiciones longitudinales de espacio dentro del área de contenedor de pallets; como se muestra en la Figura 6.

Área y volumen del sistema de refrigeración.

- S (área) = $A_{ext} = 325 \text{ m}^2$.
- V (Volumen) = 421 m^3 .

Las nuevas unidades en el sistema son debido a la demanda y necesidades de la empresa ya vistos en la Tabla 14.

Temperatura de entrada y salida de la uva.

- Temperatura ambiente 32 °C.
Es la temperatura medio ambiente del clima de la ciudad de Piura.
- Temperatura de entrada 28 °C.
Es la temperatura con la que la uva ingresa a la cámara de frío, (T_e).
- Temperatura de salida -1 °C.
Es la temperatura con la que la uva sale de la cámara de frío, (T_i).

Dichas temperaturas deben ser respetadas y mantenerse en su rango debido a estándares de calidad y salubridad, para seguir manteniendo su aroma, textura y grado de nutrición, como lo exigen las normas “NTP 011.012: 2021 Uva de mesa” (inacal, 2021) y el Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú (SENASA, 2014); como también la (FAO (Food and Agriculture of The United Nations), 2016) (FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).

Calor específico.

- Calor específico de la uva = 0.93 Kcal/Kg. °C (Ce)
- Calor específico del cartón = 0,3200535 kcal/kg. °C (Ce)

Datos extraídos de (ASHRAE, 2018), Cooling and Freezing Times of Food; así también (ASHRAE, 2018), Methods of Precooling Fruit. Estos datos parten desde el sistema de refrigeración con el que trabajan.

Tiempo de refrigeración en el cuarto.

- 8 horas.

Este tiempo está estimado en función a las necesidades de la empresa y a los datos obtenidos por la futura demanda de uva de mesa a exportar.

Peso de la uva y cajas de cartón.

Se refiere a la cantidad de uva y cartón en kilogramos que ingresa a la cámara de frío durante las 8 horas de trabajo.

- En la uva, (28 386 Kg) total en 8 horas = (3 548.25 Kg/h). (Pu)
- En las cajas de cartón, (1 724.7 Kg). (Pc)

Datos calculados por las cantidades de torres, pallets y el peso de cada producto; en función a la demanda.

Coeficiente global de transferencia de calor.

- $U = (0,1 \text{ kcalh.m}^2. \text{ }^\circ\text{C})$

Valor obtenido de la Tabla 6, por tratarse de un sistema, datos obtenidos de (ASHRAE, 2018).

Densidad del aire.

- $\rho: 1.1886 \text{ kg/m}^3$

Dato extraído de la Tabla 7.

Conductividad térmica de las paredes.

- Aluminio
- Paneles de poliuretano expandido
- Paneles de poliestireno expandido
- Vidrio

Ver datos extraídos en Tabla 1.

4.3. Selección de los componentes del sistema de refrigeración de acuerdo a los parámetros de diseño

4.3.1. Parámetros térmicos

- **Carga por remover de la uva**

$$QF = \text{Peso} \times \text{calor específico} \times \text{variación de } T^\circ$$

Donde:

P_u = Cantidad de uva en el túnel, que para el proceso es 28 370 Kg.

C_e = Calor específico de la uva = 0.93 Kcal / Kg. °C

T° de entrada = 28 °C

T° de salida = -1 °C

$$QF = P_u * C_e * (T_e - T_i)$$

$$QF = 28,370 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} * 0.93 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * (28 - (-1))^\circ\text{C}$$

$$QF = 765\,138.9 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

- **Carga a Remover de las cajas**

$$Q_c = \frac{P_c * C_e * (T_e - T_s)}{T}$$

Calor específico = (0,3200535 kcal/kg °C)

Peso de las cajas de cartón = (30×114×0,5043) =1724.7 kg

Donde:

P_c : Peso de las cajas. = 1724.7 Kg

C_e : Calor específico de la caja. = 0.3200535 Kcal/Kg °C

T_e : Temperatura de entrada de la uva. = 28 °C

T_s : Temperatura de salida de la uva. = -1°C

T : Tiempo de Enfriamiento= 8 horas

$$Q_c = \left(\frac{P_c * C_e * (T_e - T_s)}{T} \right)$$

$$QC = \left(\frac{1724.7 \text{ Kg} * 0.3200535 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * (28 - (-1))^\circ\text{C}}{8 \text{ h}} \right)$$

$$QC = 2000.98 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

- **Carga de calor por infiltraciones de calor**

Donde el coeficiente global de transferencia escogido es 0,1 kcal/h.m². °C por tratarse de un sistema.

$$U = (0,1 \text{ kcal/h.m}^2. ^\circ\text{C})$$

$$A (\text{área}) = A_{\text{ext}} = 485 \text{ m}^2$$

$$QT = U * A * \Delta T$$

Donde:

U = Coeficiente global de transferencia

ΔT = Variación de la Temperatura = 28 a -1 °C

$$QT = U * A * \Delta T$$

$$QT = 0.1 \frac{\text{Kcal}}{\text{h.m}^2. ^\circ\text{C}} * 485 \text{ m}^2 * (28 - (-1))^\circ\text{C}$$

$$QT = 1406.5 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

- **Carga térmica por renovación de aire**

$$QA = V * \rho * \left(\frac{1}{\text{Renv. h}} \right) * C_p * (T_e - T_s)^\circ\text{C}$$

Donde:

QA : Volumen por renovaciones de aire al día kcal/día

C_p : (0,93 kcal/Kg. °C)

V : Volumen de la cámara. = 421.2 m³

ρ : Densidad del aire en $\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ (Para efectos de cálculo se tomará de la Tabla

7; este valor se toma debido a la cercanía de Piura (msnm).

CP : Calor específico de la uva kcal/kg. °C

T_e : Temperatura Exterior. = 28 °C

T_s : Temperatura Interior. = -1 °C

T : Tiempo de Enfriamiento. = 8 horas

$$QA = V * \rho * \left(\frac{1}{R_{env. h}}\right) * C_p * (T_e - T_s)^\circ C$$

$$QA = 421.2 m^3 * 1.1886 \frac{Kg}{m^3} * \left(\frac{1}{R_{env. h}}\right) * 0.93 \frac{Kcal}{Kg * ^\circ C} * (28 - (-1))^\circ C$$

$$QA = 13\,502.215 Kcal/h$$

- **Carga aportada por luminarias**

$$Q_{ilum} = P * 0.86 \frac{Kcal}{h}$$

Donde:

$$1 kW = 0.86 Kcal/h$$

$$P = 07 (LED) * 400 W = 2800 W$$

$$Q_{ilum} = P * 0.86 \frac{Kcal}{h}$$

$$Q_{ilum} = 2\,408 \frac{Kcal}{h}$$

- **Carga transmitida por las paredes**

$$Q_{tp} = K * A * \left(\frac{T_e - T_i}{e}\right)$$

Donde:

K : Conductividad del aislante (Paneles de poliuretano expandido) Tabla 1.

A : Área (m^2) = 485 m^2 .

T_e : Temperatura exterior = 28°C

T_i : Temperatura interior = -1°C

e : Espesor de la pared = 0.22 m

$$Q_{tp} = K * A * \left(\frac{T_e - T_i}{e}\right)$$

$$Q_{tp} = 0.027 \frac{W}{m.K} * 485 m^2 * \left(\frac{28 - (-1)}{0.22 m}\right)$$

$$Q_{tp} = 1726.16 W$$

Donde:

Convertir kW a Kcal/h = 1 kW = 1000 W = 859.85 = 0.86 Kcal/h

$$Q_{tp} = 1726.2 \text{ W} * 0.86 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{tp} = 1484.49 \text{ Kcal/h}$$

4.3.2. Suma de cargas térmicas

Es la sumatoria de todas las cargas térmicas calculadas como se muestra en tabla 16:

Tabla 16

Resumen de cargas térmicas sistema nuevo.

Tipo de carga	Abreviación	Kcal/h	W
Carga por renovación de aire	Q_A	13 502.215 $\frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$	15 700.3 W
Carga de las cajas	Q_C	2 000.98 $\frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$	2 326.7 W
Carga de la uva	Q_F	765 138.9 $\frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$	889 696.4 W
Carga por infiltración de calor	Q_T	1 406.5 $\frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$	1 635.5 W
Carga aportada por luminarias.	Q_{ilum}	2 408 $\frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$	2 800 W
Carga transmitida por las paredes.	Q_{tp}	1 484.49 $\frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$	1 726.2 W
Q totales		785 940.83 $\frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$	913 884.7 W
Q total	+10%	864 535.16 $\frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$	1 005 273.4 W

Nota. Cargas térmicas totales.

+10% = Es el valor sumado al total de las cargas totales, como medida de seguridad ante una futura mejora o incremento de cargas.

4.3.3. Cálculo de la potencia frigorífica

La potencia frigorífica P_f , está considerada por el número de horas que trabajará el sistema de refrigeración en este caso de 18 horas al día, entonces:

$$P_f = Q_{total} * \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}}$$

$$P_f = 1\,005\,273.4 \text{ W} * \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}}$$

$$P_f = 1\,005.27 \text{ KW} * \frac{24 \text{ horas}}{18 \text{ horas}}$$

$$P_f = 1\,340.36 \text{ kW}$$

4.3.4. Calcular el ciclo de refrigeración

Para el ciclo de refrigeración se toman en cuenta aspectos termodinámicos, detallados a continuación:

- **Selección del refrigerante**

Se evaluó en función a ciertas características de cada refrigerante para determinar el más adecuado tomando en cuenta el sistema de refrigeración y sus elementos así como los requerimientos de la empresa y su utilización en la uva de mesa, con la finalidad de mantener un producto de calidad que cubra con los más altos estándares nacionales e internacionales; (SENASA, 2014); (PROVID., 2005) y (STAN, 2022); en tal sentido se involucra al cuidado del ambiente con convenios internacionales y tratados, (Dipúblico.org, 1985); destacando y clasificando algunos de estos refrigerantes:

Amoniaco (NH3) – R717

- Tiene más alto efecto por libra.
- Punto de ebullición a presión atmosférica es de -28 °F.
- Las presiones en el evaporador y condensador a las condiciones de toneladas estándar son de 5 °F y 86 °F con 34.27 *lb/pul*² absolutas y 169.2 *lb/pul*² absolutas.
- T°, adiabática en la descarga es de 210°F (se requiere enfriamiento con agua en el cabezal como en los cilindros del compresor).

- Uso en fábricas de hielo, plantas empacadoras, almacenes de enfriamiento.

Refrigerante - R11

- Serie del metano (NH₄).
- Punto de ebullición de 74.7 °F.
- Las presiones en condiciones de toneladas estándar 2.94 *lb/pul*² absolutas y 18.19 *lb/pul*² absolutas.
- Se usa en compresores centrífugos, sistemas de aire acondicionado, refrigerante secundario y solvente.

Refrigerante - R22 (ChClF₂)

- Punto de ebullición de -41-4 °F.
- Refrigerante de temperatura baja.
- Uso en congeladores domésticos y de granjas y sistemas industriales comerciales de baja temperatura.
- Temperaturas el evaporador son bajas a valores de -125 °F.

Refrigerante - R114 (CCL₂CClF₂)

- Punto de ebullición de 38.4°F.
- Las presiones de evaporación y condensación de tonelada son de 6.75 *lb/pul*² y 36.27 *lb/pul*².
- Su uso es en compresores centrífugos en instalaciones muy grandes de acondicionamiento de aire comercial e industrial de agua hasta - 70°F.

En tal sentido se realizó una matriz de ponderación teniendo en cuenta algunos aspectos importantes en relación a los requerimientos de la empresa agroindustrial, la cual valora temas de seguridad, costos del refrigerante y ambiente; los cuales se muestran a continuación en la Tabla 17.

Tabla 17*Matriz de ponderación para seleccionar el refrigerante.*

Refrigerante	Seguridad (inflamabilidad)	Costo s/	Capa de Ozono (protección)	Puntaje
	Valor S (0-5)	Valor C (0-5)	Valor Co (0-5)	
Amoniaco (NH ₃) - R717.	5	4	5	14
Refrigerante - R11 (NH ₄).	3	3	2	8
Refrigerante -R22(ChClF ₂)	4	3	0	7
Refrigerante - R114 (CCL ₂ CClF ₂)	3	4	2	9

Nota. Se seleccionará el refrigerante con mayor puntaje.

Valor s = (0) menos seguro y (5) más seguro.

Valor c = (0) menor costo (5) mayor costo.

Valor co = (0) menos protege, (5) mayor protección.

En la tabla vista se encuentra, que el refrigerante con mejores características para el sistema de refrigeración se destaca no solo por las buenas y notables propiedades físicas y químicas; así también por su bajo impacto en el cuidado del ambiente y respaldo en temas de seguridad al momento de emplearlo en un sistema, en tal sentido se selecciona el R717 (amoníaco) por obtener el mayor puntaje de selección y acorde a las necesidades requeridas por la empresa agroindustrial.

- **Condiciones de condensación y evaporación**

T° de evaporación

Según el libro de sistemas de refrigeración de (Dossat, 1997), Respecto a la consideración a tener en cuenta para el diseño del evaporador se debe evaluar la humedad relativa, para el caso de Piura en noviembre alcanza un 63%, según la Tabla 18, se tiene para una convección los siguientes valores:

Tabla 18*Diseño del evaporador en función a la humedad relativa.***Diseño evaporador con DT (diferencia de t) °F**

Humedad Relativa %	Convección Forzada
95-91	8-10
90-86	10-12
85-81	12-14
80-76	14-16
75-70	16-18
69-65	18-20
64-60	20-22

Nota. Seleccionar la convección forzada a su humedad relativa.

Por lo tanto, se considera la variación de $T^\circ = T$ de cámara de enfriamiento.

T° del evaporador = 22 °F.

Lo que equivale a la variación de $T^\circ = -5.55$ °C.

$$T^\circ_{evap} = T_{cam} - Variacion T$$

$$T^\circ_{evap} = (-2 - 5.55)^\circ C$$

$$T^\circ_{evap} = -7.55^\circ C$$

Por lo tanto, se interpola la T en °C, en relación a la presión (P) en kPa; con datos de la tabla termodinámicas en Anexo 3, entonces:

Tabla 19*Calcular presión en el evaporador.*

T (°C)	P (kPa)
-8	315.2
-7.55	Y=?
-6	341.2

Nota. Elaboración propia.

$$Y = Y_1 + \left[\frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} (x - x_1) \right]$$

$$Y = 315.2 + \left[\frac{(341.2 - 315.2)}{(-6 - -8)} (-7.55 - -8) \right]$$

$$Y = 328.2$$

$$P_{evap} = 328.2 \text{ kPa} = 3.28 \text{ bar}$$

T° de condensación

Según, (Dossat, 1997, pag 323,p2) para el cálculo de la variación de condensación se tiene:

$$\text{Variación } T^\circ = -1^\circ\text{C} = 30.2^\circ\text{F} + 15^\circ\text{F} = 45.2^\circ\text{F}.$$

$$T_{ext} = 28^\circ\text{C} = 82.4^\circ\text{F}$$

$$T^\circ\text{condensador} = T_{ext} + \text{Variación } T$$

$$T^\circ\text{condensador} = 82.4 + 45.2^\circ\text{F}$$

$$T^\circ\text{condensador} = 127.2^\circ\text{F}$$

$$T^\circ\text{condensador} = 53^\circ\text{C}$$

Por lo tanto, se interpola la T en °C, en relación a la presión (P) en kPa; con datos de la tabla termodinámicas en Anexo 3, entonces:

Tabla 20

Calcular presión en el condensador.

T (°C)	P (kPa)
54	2252.8
53	Y=?
50	2033.5

Nota. Elaboración propia.

$$Y = Y_1 + \left[\frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} (x - x_1) \right]$$

$$Y = 2252.8 + \left[\frac{(2033.5 - 2252.8)}{(50 - 54)} (53 - 54) \right]$$

$$Y = 2198$$

Con el valor anterior se determina una presión en el condensador de:

$$P_{cond} = 2198 \text{ kPa} = 21.98 \text{ bar}$$

Donde:

$$T^{\circ}\text{evaporador} = -7.55\text{ }^{\circ}\text{C} @ P_{\text{evap}} = 328.2\text{ kPa} = 3.28\text{ bar}$$

$$T^{\circ}\text{condensador} = 53\text{ }^{\circ}\text{C} @ P_{\text{cond}} = 2198\text{ kPa} = 21.98\text{ bar}$$

- **Entalpias en el ciclo termodinámico**

Para encontrar las entalpias en el sistema de refrigeración ingresamos los datos obtenidos en este programa llamado CoolPack; mostrado en figura 8; el cual mediante su software y con ayuda de sus herramientas de simulación para sistemas de frío y datos proporcionados nos entregará las entalpias y diagramas que nos servirán para validar dichos datos y así seleccionar cada elemento dentro del sistema de refrigeración.

Figura 8

Programa de simulación para sistema de refrigeración.

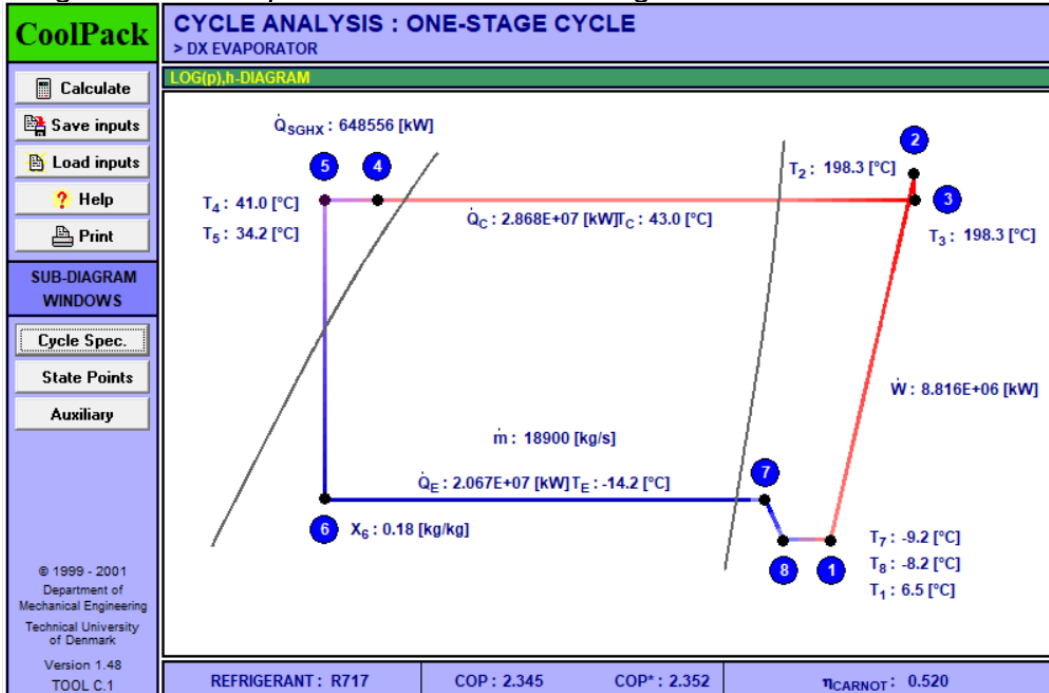
CYCLE SPECIFICATION								
TEMPERATURE LEVELS		PRESSURE LOSSES		SUCTION GAS HEAT EXCHANGER		REFRIGERANT		
T_E [°C]:	-14.2	ΔT_{SH} [K]:	5	ΔP_{SL} [k]:	0.5	Thermal efficiency η_T	0.30	R717
T_C [°C]:	43.0	ΔT_{SC} [K]:	2	ΔP_{DL} [k]:	0.5			
CYCLE CAPACITY								
Mass flow \dot{m} [kg/s]	18900	\dot{Q}_E : 2.067E+07 [kW]	\dot{Q}_C : 2.868E+07 [kW]	\dot{m} : 18900 [kg/s]	\dot{V}_S : 37556065.07 [m ³ /h]			
COMPRESSOR PERFORMANCE								
Isentropic efficiency η_s [-]	0.7	η_s : 0.700 [-]	\dot{W} : 8.816E+06 [kW]					
COMPRESSOR HEAT LOSS								
Heat loss factor f_Q [%]	10	f_Q : 10.0 [%]	T_2 : 198.3 [°C]	\dot{Q}_{LOSS} : 881585 [kW]				
SUCTION LINE								
Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL}$ [K]	1.0	\dot{Q}_{SL} : 53775724 [W]	T_8 : -8.2 [°C]	$\Delta T_{SH,SL}$: 1.0 [K]				

Nota. Datos proporcionados de los cálculos hallados anteriormente.

Entonces considerando los datos proporcionados en el programa como su temperatura del evaporador de (-7.55 °C) y la temperatura del condensador de (53°C); encontramos las siguientes entalpias correspondientes en la figura 9.

Figura 9

Diagrama de entalpías en el sistema de refrigeración.



Nota. Entalpías en cada punto del sistema.

Apreciamos en la figura 10, los puntos ya ordenados que resultan del programa CoolPack en el diagrama y resumidos en la figura 9; de este modo ya obtenemos cada una de las entalpías.

Figura 10

Cuadro resumen de las entalpías.

STATE POINTS					Additional information
STATE POINT	TEMPERATURE [°C]	PRESSURE [kPa]	ENTHALPY [kJ/kg]	DENSITY [kg/m ³]	
1	6.5	239.1	1477.8	1.8	Pressure ratio (p_2 / p_1) : 7.174 $T_{2,IS}$: 161.6 [°C] $T_{2,IS}$ is the temperature of the discharge gas assuming reversible and adiabatic compression $T_{2,W}$: 216.5 [°C] $T_{2,W}$ is the temperature of the discharge gas assuming real and adiabatic compression
2	198.3	1715.0	1897.6	7.7	
3	198.3	1692.0	1898.0	7.6	
4	41.0	1692.0	380.5	577.7	
5	34.2	1692.0	346.8	588.6	
6	-14.2	244.2	346.8	----	
7	-9.2	244.2	1440.6	2.0	
8	-8.2	239.1	1443.5	1.9	

Nota. Entalpías resultantes del programa CoolPack.

Según la figura 10, del ciclo termodinámico se obtienen para cada valor correspondientes a las entalpías en relación a cada punto:

$$\begin{aligned}
 H_1 &= 1477.8 \text{ kJ/Kg} \\
 H_2 &= 1898 \text{ kJ/Kg} \\
 H_3 &= 346.8 \text{ kJ/Kg} \\
 H_4 &= 346.8 \text{ kJ/Kg}
 \end{aligned}$$

Ya con las entalpias encontradas se procede a calcular cada uno de los datos correspondientes, como parte de cada característica para seleccionar cada elemento dentro del sistema de refrigeración como son:

Efecto refrigerante (e.r.u)

$$\begin{aligned}
 \text{e.r.u} &= h_1 - h_4 \\
 \text{e.r.u} &= 1477.8 - 346.8 \\
 \text{e.r.u} &= 1131 \text{ kJ/Kg}
 \end{aligned}$$

Flujo masico refrigerante (m):

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{\text{Cap refrigeración}}{\text{e.r.u}} \\
 m &= \frac{1340.36 \text{ kW}}{1131 \text{ kJ/Kg}} \\
 m &= 1.18 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} = 70.8 \text{ Kg/min}
 \end{aligned}$$

Potencia del compresor

$$\begin{aligned}
 W &= m (h_2 - h_1) \\
 W &= 1.18 (1898 - 1477.8) \\
 W &= 1.18 * 420.2 \\
 W &= 495.83 \text{ kW} = 664.42 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

Calor rechazado por el condensador (Qc)

$$\begin{aligned}
 Q_c &= m (h_2 - h_3) \\
 Q_c &= 1.18 (1898 - 346.8) \\
 Q_c &= 1.18 * 1551.2 \\
 Q_c &= 1830.42 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Coeficiente de funcionamiento (Beta)

$$\text{Beta} = \frac{\text{Cap}_{\text{refrigeración}}}{W}$$

$$\text{Beta} = \frac{1\,340.36 \text{ kW}}{495.83 \text{ kW}}$$

$$\text{Beta} = 2.70$$

Potencia por tonelada de refrigeración (W_{ton})

$$W_{\text{ton}} = \frac{W_{\text{compresor}}}{\text{Cap}_{\text{refrigeración}}}$$

$$W_{\text{ton}} = \frac{664.45 \text{ hp}}{18.9 \text{ ton}}$$

$$W_{\text{ton}} = 35.16 \text{ hp/ton}$$

Caudal Volumétrico por tonelada (Q_{ton})

$$Q_{\text{ton}} = m * v_1$$

$$Q_{\text{ton}} = 1.18 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 0.9805 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}$$

$$Q_{\text{ton}} = 1.15 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}} = 69.41 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Después de haber hallado los datos en relación a las entalpías, se procedió a la selección de cada elemento del sistema de refrigeración.

4.3.5. Seleccionar los componentes del sistema de refrigeración

- **Evaporador:**

Tipos de construcción

- De tubo descubierto: de cobre para refrigerante amoníaco o aluminio para refrigerantes que no sean amoníaco.
- De superficie de placa: formada por dos placas de metal soldadas generando hermeticidad.
- Aletadas: Son como serpentines en forma de tubos en su interior placas metálicas mejorando la transferencia de calor.

Temperatura de operación

- De tubo descubierto: tubos en cobre y acerados.
- De superficie de placa: placas metálicas.
- Aletadas: en aplicaciones de enfriamiento con aire donde la T° sea mayor a 34 °F, en caso de T° inferiores se deben considerar elementos para retirar la escarcha.

Entorno de enfriamiento

- De tubo descubierto: para cuartos de enfriamiento o almacenes donde circula grandes cantidades de aire a baja velocidad, como los packin y almacenes.
- De superficie de placa: de uso en electrodomésticos, así como camiones refrigerantes para traslado.
- Aletadas: para uso en almacenes, conservadoras, exhibidoras y packin.

Se procede a hacer una matriz de ponderación con puntajes para obtener mediante los criterios a evaluar una cantidad de características que hacen la selección más sencilla referente al sistema de refrigeración como se detalla en la siguiente tabla 21:

Tabla 21

Matriz de ponderación.

	Tipo de construcción	T° de operación	Tipo de entorno de enfriamiento	Puntos
De tubo descubierto	1	2	2	5
De superf. de Placas.	2	1	1	4
De aletadas	3	3	3	9

Nota. Se busca seleccionar bajo ciertos parámetros dentro del sistema.

De acuerdo a la tabla 21, se demuestra por medio de la ponderación que el evaporador con mejores cualidades para desempeñarse en el sistema de frío es el de aletadas.

Según Dossat (1987) si la diferencia de T es menor a 10° F el sistema debe ser de convección forzada, entonces para nuestro sistema.

Dato:

- $T_{\text{evaporador}} = -14\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{\text{condensador}} = 43\text{ }^{\circ}\text{C} = \text{DT} = 57\text{ }^{\circ}\text{C}$

Por lo tanto, en la tabla R-8 de (Dossat, 1997), sobre las capacidades y especificaciones de unidades de enfriamiento se tiene que para un circuito con capacidad de 12750 Btu/hora y un caudal de 266 pies², el evaporador KUDL016-E2C cumple con la capacidad considerando las siguientes características:

Calor del motor de 13350 Btu/24 hr

1 ½ hp

Ventilador de 16"

RPM 1140

$\frac{\text{Pies}^3}{\text{min}}$ 1480

- **Seleccionar el compresor:**

Capacidad del compresor

La presión de succión teóricamente es la misma que el evaporador, por lo tanto.

Dato:

- $T_{\text{evaporador}} = -14.22\text{ }^{\circ}\text{C}$ @ $P_{\text{evaporador}} = 246.4\text{ kPa} = 0.246\text{ bar}$.

La presión de descargar es la misma que en el condensador, por lo tanto.

Dato:

- $T_{\text{condensador}} = 109.4\text{ }^{\circ}\text{F} = 43\text{ }^{\circ}\text{C}$ @ $P_{\text{condensador}} = 1.6090\text{ MPa}$.

A partir de esto las entalpías del ciclo estándar se obtiene:

H1= 1477.8 kJ/Kg

H2 =1898 kJ/Kg

H3=346.8 kJ(Kg

H4=346.8 kJ/Kg

El caudal masico del refrigerante:

$$M= 1.18 \text{ kg/s}$$

Con esto se haya la potencia de compresión teórica

$$W_c = 664.42 \text{ hp}$$

Considerando que la potencia real es 1.25 de la teórica, tenemos

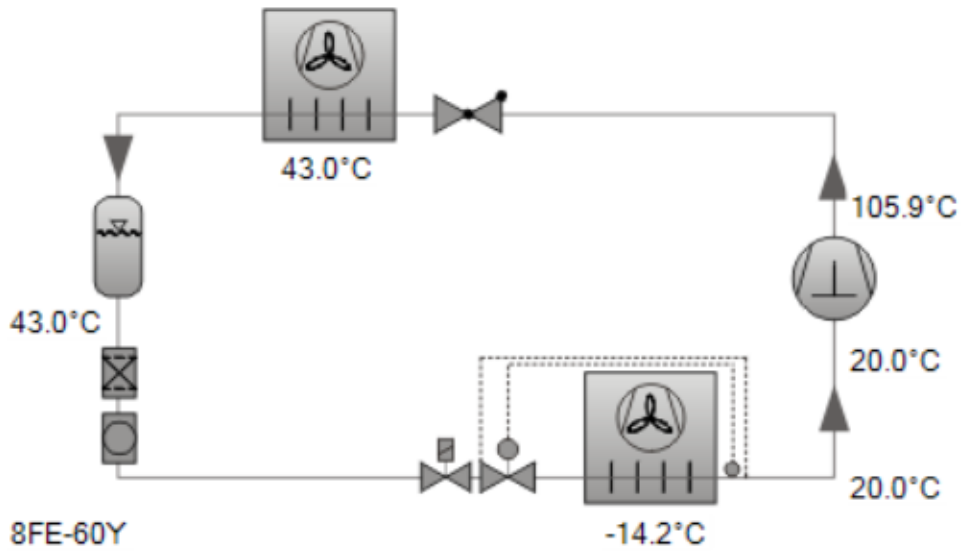
$$W_r = 1.25 * W_c$$

$$W_r = 1.25 * 664.42 \text{ hp}$$

$$W_r = 830.525 \text{ hp}$$

Con las entalpias encontradas y el caudal másico en el sistema que se extraen del libro de (Dossat, 1997) podemos trasladar dichos datos a un software llamado Bitzer, en Anexo 4; el cual nos da modelos de los elementos que se emplean en estos sistemas de refrigeración; de esta forma se diagrama cada elemento y se muestra sus respectivos datos en la figura 11.

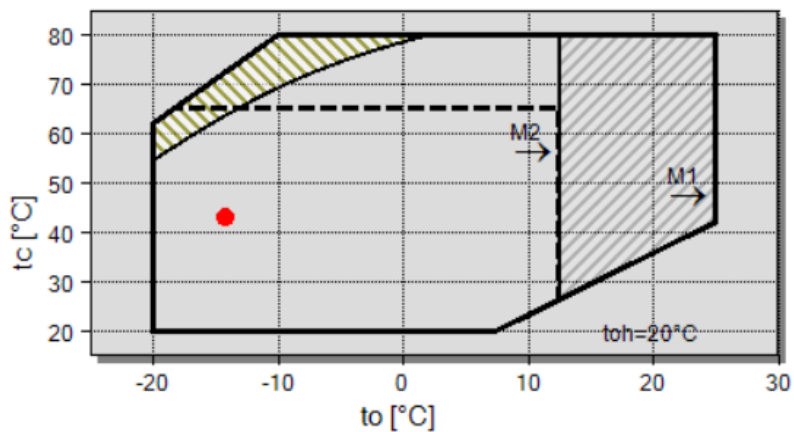
Figura 11
Compresor en diagrama.



Nota. Elaborado con el software Bitzer.

De acuerdo al diagrama mostrado en la figura 11, el programa también te muestra un diagrama de seguridad para establecer en que zona nos mantenemos cuando el sistema esta trabajando de la mano con el compresor, así lo muestra la figura 12 a continuación:

Figura 12
Diagrama de seguridad del compresor



Nota. El (●) denota la seguridad dentro del sistema encargado por el compresor.

Es de suma importancia saber si las condiciones de trabajo y nuestros elementos son óptimos para desempeñarse en cada punto del sistema es aquí donde nos damos cuenta al ver el punto rojo que mientras se mantenga dentro de la zona de seguridad no tendremos ningún problema por desempeño del compresor.

Bajo estos parámetros y criterios a seleccionar, el mismo programa (Software Bitzer), nos entrega el modelo de compresor que nuestro sistema requiera teniendo en cuenta entalpías y temperaturas de condensación y evaporación como presento en la tabla 22.

Tabla 22
Modelo de compresor

Compresor	8FE-60Y-40P	Und
Escalones de capacidad	100%	
Potencia frigorífica	51.9	kW
Potencia frigorífica *	51.9	kW
Potencia en el evap.	51.9	kW
Potencia absorbida	23.5	kW
Corriente (400V)	60.2	A
Gama de tensiones	380-420V	
Capacidad del condensador	75.4	kW
COP/EER	2.21	
COP/EER *	2.21	
Caudal másico	1187	kg/h
Modo de funcionamiento	Estándar	
Temp. Gas de descarga no enfriado	105.9	°C

Nota. Características del compresor según el requerimiento del sistema.

- **Selección del condensador**

$$Cap_{refrigeración} = 1340.36 \text{ kW} * \left(\frac{1 \text{ ton}}{3.52 \text{ kW}} \right)$$

$$Cap_{refrigeración} = 380.78 \text{ ton}$$

Con el mismo programa ingresamos datos como las temperaturas de evaporación y condensación que se hallaron con las entalpías, para que el software nos de un modelo de condensador según las necesidades del sistema, mostradas en la tabla 23.

Tabla 23

Modelo para el condensador.

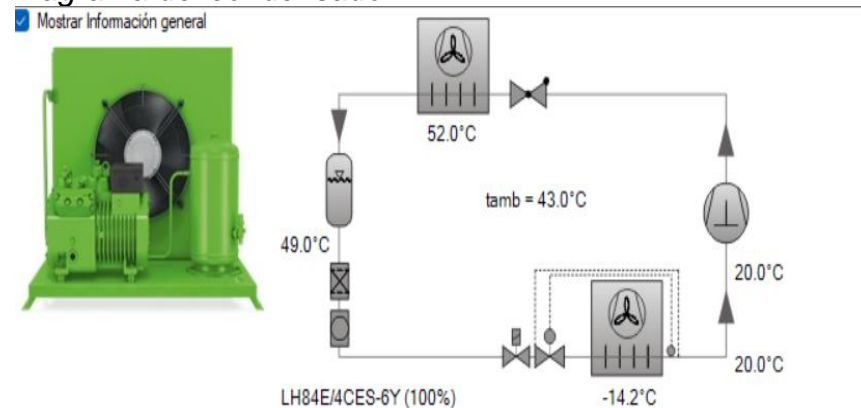
Unidad modelo	LH84E/4CES-6Y-40S
Escalones de capacidad	100%
Potencia frigorífica	7.21 kW
Potencia en el evap.	7.21 kW
Potencia absorbida	4.13 kW
Corriente (400V)	8.11 A
Gama de tensiones	380-420V
Caudal másico	175 kg/h
Temp. de condensación	52 °C
Subenfriamiento del líquido	3 K
Modo de funcionamiento	Estándar

Nota. Características del condensador según el requerimiento del sistema.

Con las entalpías encontradas y el caudal másico en el sistema que se extraen del libro de (Dossat, 1997) trasladamos los datos al software Bitzer, brindándonos modelos de elementos para un condensador dependiendo del sistema de refrigeración y sus necesidades de dicho sistema, de esta forma se diagrama cada elemento y se muestra sus respectivos datos en la figura 13.

Figura 13

Diagrama del condensador.

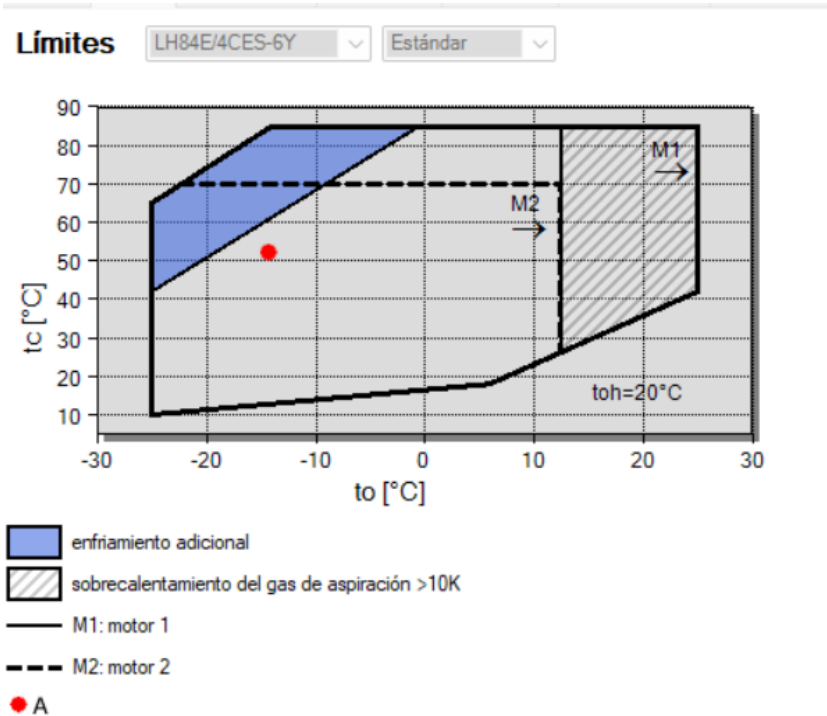


Nota. Elaborado con el software Bitzer.

De acuerdo al diagrama mostrado en la figura 13, el programa también brinda un diagrama de seguridad para establecer en que zona nos

mantenemos cuando el sistema está trabajando de la mano con el condensador, por lo tanto, se mantiene un desempeño óptimo, así lo muestra la figura 14 a continuación:

Figura 14
Diagrama de seguridad del condensador.

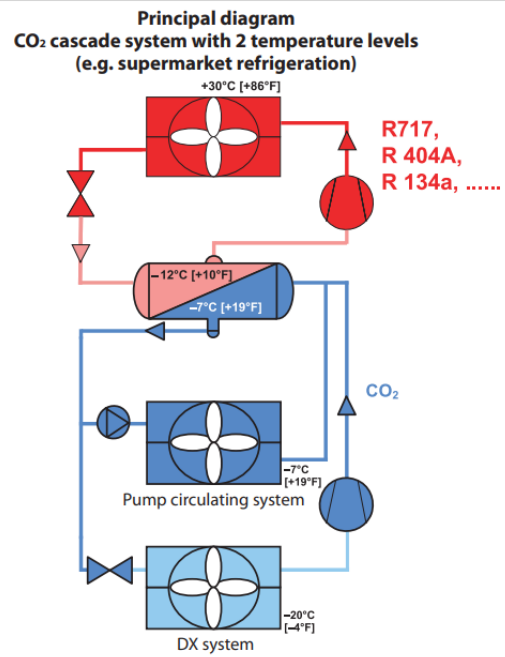


Nota. Se observa la leyenda en la parte de debajo de la figura 14.

- **Selección del equipo de control**

Se seleccionó el sistema de control por tener compatibilidad con los elementos del sistema de refrigeración en relación al refrigerante y cada punto de entalpías para determinado elemento en el sistema de este modo se muestra en la figura 15.

Figura 15
Diagrama principal del refrigerante r717.



10.2.4

Nota. Sistema completo de refrigeración basado en amoníaco.

4.4. Presupuesto del sistema de refrigeración propuesto

4.4.1. Inversión de habilitación del sistema de refrigeración propuesto

Según la determinación de elementos del sistema de refrigeración propuesto y lo ya expresado en los puntos anteriores; se evaluó los costos asociados a los componentes considerados para la optimización del sistema, expresados en la tabla 24.

Tabla 24

Compra de maquinaria y equipo

Maquina	Unidad	Costo
Compresor BITZER NEW ECOLINE 8FE-60Y 400V (40P)	Unidad	S/ 78,520.00
condensador. LH84E/4CES- 6Y-40S	Unidad	S/ 26,748.00
Evaporador KUDL016-E2C	Unidad	S/ 19,250.00
Total (considerando 6 cámaras de refrigeración)		S/ 747,108.00

Nota. Costos referenciales al sistema de refrigeración.

Así mismo se debe considerar que estos componentes tienen costos asociados, los cuales se expresan en la tabla 25

Tabla 25

Costos adicionales para el nuevo sistema de refrigeración optimizado.

Ítem	Costo
Habilitación de ensamblaje de nuevos equipos	S/ 35000
Compras de accesorios incluyendo tubo de cobre de 2 5/8" de diámetro.	S/ 13000
Reestructuración de cámara de refrigeración en dimensionamiento	S/120000
Total	S/ 168,000.00

Nota. Costo total adicional a la implementación de los componentes del sistema.

4.4.2. Costos asociados a la puesta en marcha del sistema de refrigeración propuesto

- **Costos de mano de obra**

En la Tabla 26 se aprecia un cuadro detalle de los costos de cada personal que interviene en la operación dentro del sistema de refrigeración, cabe mencionar que este valor se incluye dentro de los costos operativos, en la mano de obra directa.

Tabla 26

Costos sobre el personal en operación.

Ítem	Descripción	cantidad	Horas por turno	Costo / h	Total	costo anual
1	Técnico electricista	1	8	S/ 4.02	S/ 32.16	S/ 8,490.24
2	Montacarguista	1	8	S/ 4.02	S/ 32.16	S/ 8,490.24
3	Frigorista	1	8	S/ 4.02	S/ 32.16	S/ 8,490.24
4	Supervisor	1	8	S/ 4.02	S/ 32.16	S/ 8,490.24
Total					S/ 128.64	S/ 33,960.96

Nota. Personal operativo para sistema propuesto.

- **Costo de mantenimiento anual para el sistema propuesto**

Dentro de los costos asociados a las operaciones, estas otras erogaciones que se deben tener en cuenta para el correcto funcionamiento de la propuesta, como son los costos de mantenimiento y que deben ser considerados durante la vida útil de los componentes, tal costo se expresa de la siguiente manera:

Costo de mantenimiento = S/ 83.27/ hora, considerando que se trabajan 5 días y medio día los sábados, y tomando esto para obtener la anualidad de costos de mantenimiento se obtiene:

Costo Anual = S/ 21,983.28.

Teniendo en cuenta los costos antes mencionados el resumen del costo total

de la habilitación del sistema se puede definir según lo expresado en la Tabla 29:

Tabla 29
Resumen de costos de implementación del sistema propuesto

Ítem	Costo
Maquinaria y equipo	S/ 747,108.00
Refrigerante R-717	S/ 5400.00
Costos asociados a la habilitación del sistema propuesto	S/ 168,000.00
Costo de mano de obra	S/ 33,960.96
Costo de mantenimiento	S/ 21,983.28
Total	S/ 976,452.24

Nota. R-717; gas amoníaco.

El costo total de la implementación tiene por monto un valor de S/ 976,452.24 soles.

V. Discusión

En la empresa agroindustrial de uva de mesa para exportación, se obtuvieron datos del sistema actual extraídos de su base de datos, encontrando las temperaturas tanto de ingreso a 28° C y de salida de la uva a 4°C; su capacidad de uva de 18 Tn, su tiempo de congelación de 13 horas y su velocidad de aire en el túnel de 0,2 m/s. estos resultados se tienen similitud según los expresado Pacheco Callirgos (2020); quien determinó que el enfriamiento debe darse por aire forzado con velocidades entre 2.0 a 3.5 m/s, tiempo de refrigeración de 12 horas por lo que se puede identificar que los tiempos de enfriamiento que son uno de los parámetros más relevantes se muestra iguales, considerando que los sistemas son de túnel californiano, por otra parte, para la descripción del sistema de refrigeración de la empresa de uva de mesa se encontró su configuración y parámetros de temperatura final de la uva a 4° C, lo que ocasionaba problemas de merma en el producto y lentitud en el despacho, esto en contraste con Pacheco Callirgos (2020), donde sus cálculos y valores resultantes de su investigación demuestran que las temperaturas finales y correctas para la refrigeración de uva de mesa deben comprenderse entre los rangos de -0.5 a -2° C.

Otro factor importante usado durante la investigación es la capacidad que acapara en el mercado la empresa de uva, y por ende la relación con las operaciones bajo distintos valores y datos uno de ellos se obtiene en base a sus 12 horas de activas de producción, con la que funciona su túnel californiano, es en donde optimizar el sistema para reducir sus tiempo de refrigeración son primordiales, es así, que se debería de cumplir dicha operación en un tiempo de 08 horas tal como lo menciona; Núñez (2021); debido a que su investigación es enfocada al traslado y embarque de productos a exportar y en su gran mayoría son de congelados se debe tener un control exacto ya que ocasionan demoras en el almacén y despacho al ser un proceso lento ocasionando pérdidas de los productos. En tal sentido, esta investigación hace énfasis en optimizar el tiempo de congelado en la uva de mesa pasando en un sistema de 12 horas a otro optimizado de 08 horas, con ello se logra mayor capacidad de uva en cuarto y gracias al nuevo sistema de

refrigeración que brinda mejores parámetros dentro del cuarto frío se obtienen menores mermas en la uva de mesa y mayor duración del producto en tiempo de viaje llegando a su destino sin ningún problema; se toma siempre en cuenta que lo primero que ingresa, es lo primero que sale; coincidiendo en lo dicho por, Núñez (2021). La empresa de uva de mesa debe cumplir con sus requerimientos y así satisfacer la demanda del mercado debe tener en claro los parámetros del sistema de refrigeración, en tal sentido se obtiene su temperatura inicial de la uva de mesa en 28° C, la cual es recomendada y cumple con lo mencionado por; Cerros (2016) ya que los alimentos al refrigerarlos y congelarlos pasan por un cambio complejo para así no malograrse y cumplir con su calidad y nutrientes, mencionando que dichos productos deben extraérseles el calor antes de congelarlos. Es por ello que en la empresa agroindustrial la uva una vez cosechada ingresa a otro ambiente donde se le extrae el calor ya que proviene del exterior y así una vez llegada a sus 28°C, es ingresada al cuarto frío para su congelación para exportación, coincidiendo con nuestro proyecto en que la uva debe bajar su temperatura inicial antes de ingresar al cuarto frío, para tener una óptima congelación de la mano del sistema optimizado de refrigeración.

Para seleccionar los equipos del sistema de refrigeración en la empresa de agroexportación se mantiene y opera con normas de seguridad y controles para dichas operaciones, así se obtienen de su sistema y configuración en el sistema de refrigeración valores de seguridad establecidos para mantener un control y estándar de calidad mejoradas, en tal sentido se considera un factor de seguridad del 10%, al igual como lo menciona; Florida Reynaga (2021), en donde gracias a su investigación basada en la selección de cada componente y equipos dentro de un sistema de refrigeración para túnel de congelamiento donde asume un 10% como factor de seguridad. Se coincide con dicho factor de seguridad para que opere correctamente el sistema de refrigeración y cada componente seleccionado, este 10% es sumado adicionalmente al valor total de las cargas totales, como medida de seguridad ante una futura mejora o incremento de cargas, en función también a los cálculos asociados por; (Dossat, 1997). La empresa de uva de mesa, para brindar un producto de calidad se debe enfocar en llevar un buen control y

utilización de las normas de calidad establecidas es así que en función a su base de datos y documentos con los que la empresa posee otorgados para exportar uva de mesa como la Norma Técnica Peruana “NTP 0.11.012: 2021 Uva de mesa”; y sus estándares con (inacal, 2021); donde mencionan que la temperatura de exportación para uva de mesa es y debe ser de -1°C ; tal como es mencionado por, Hurtado Mamani (2014), donde desea optimizar el proceso de congelación de la tilapia congelada en bloques, esto con la finalidad de lograr una máxima calidad. En tal sentido, procedió a diseñar un sistema que cumpla con estos requerimientos evaluando tres temperaturas de congelación (-30 , -35 y -40°C). En efecto las temperaturas son superiores pero los parámetros y selección de los equipos e implementación de mayor área se operan en similitud para la uva de mesa o cualquier otro producto, cabe precisar que los cálculos y características de cada producto son diferentes pero el sistema siempre hará lo mismo retirar el calor del producto para congelarlo; coincido así con, Hurtado; logrando exportar un producto de calidad y buenas condiciones de salubridad para la alta demanda en el mercado internacional.

Dentro de los objetivos específicos se determino el costos de la implementación del sistema propuesto, esto con la finalidad de crear información relevante que sirva de utilidad para que la empresa pueda evaluar los beneficios que puede traer la implementación, este costo total fue de S/ 976,452.24, en forma análoga Florida Reynaga (2021), con una propuesta de evaluación de características técnicas estableció que la implementación de sus sistema es de S/ 1,570,965, estos valores se deben a que los sistemas propuestos tuvieron en consideración infraestructura similar debido a sus volúmenes de producto a congelar, de forma contraria Crisanto Flores (2018) tiene unos valores con una diferencia significativa, ya que sus mejoras representan solo el 8.33% mas de nivel de enfriamiento de producto terminado, siendo el costo asociado de S/ 648 para la implementación que realizo.

Conclusiones

- El sistema de refrigeración actual es de tipo de túnel californiano, tiene capacidad de operaciones para refrigerar un peso de la uva de 18,9 TN, con una temperatura de salida de 4°C, tiempo de enfriamiento hasta de 13 horas; el cual se determinó mediante un sistema de termografía, con velocidades de viento de 0.2 m/s y un área de enfriamiento de 320 m²; a esto las características térmicas de su sistema como el calor por remover en la uva, cajas e infiltraciones de calor.
- Dentro de los parámetros de diseño se encontró que la capacidad de la planta según proyecciones generadas a partir de data histórica para el año 2023 es de 133,381 Toneladas y para el 2027 un total de 170,215 toneladas, además dentro de la capacidad se considera un diseño de 114 cajas de uva comprendidas en 30 torres, un tiempo de refrigeración del cuarto de 8 horas con temperaturas de entrada de 28 °C y -1 °C de salida.
- Los componentes del sistema propuesto, según el análisis constan del uso del refrigerante R-717 (amoníaco), así también dentro de los componentes de la maquinaria se determinó de acuerdo a las temperaturas de evaporación y condensación un compresor de modelo Bitzer 8FE-60Y-40P, un condensador de modelo Bitzer LH84E/4CES-6Y-40S y un evaporador KUDL016-E2C.
- Se ha elaborado el presupuesto del sistema propuesto cuyo valor comprende los costos de maquinaria y equipos, así como sus costos asociados a la implementación incluyendo el insumo refrigerante, así mismo se tuvo en cuenta la mano de obra y costos de mantenimiento; siendo la suma de estos un total de S/ 976,452.24.

Recomendaciones

- Según la capacidad diseñada en cuanto a valores y parámetros de refrigeración, y de acuerdo a las proyecciones encontradas, se recomienda a la empresa seguir con estas condiciones de capacidad abarcando el mercado según su expansión para tener un eficiente uso de la infraestructura propuesta.
- Se recomienda desarrollar un plan de mantenimiento que contemple los parámetros propuestos por el sistema optimizado, cumpliendo con los requerimientos para extender su vida útil en el desarrollo de las operaciones del sistema de enfriamiento.
- Se recomienda evaluar dentro de los componentes una lista mas extensa de refrigerantes comerciales que puedan tener mayores beneficios dentro de los planes de optimización, debido a que en la actual investigación solo se consideraron 4.

REFERENCIAS

- Agro-Negocio. (2020). Propiedades de la uva de mesa. Perú. Recuperado el 15 de Agosto de 2022, de <https://agronegociosperu.org/2020/09/25/peru-primer-exportador-mundial-de-arandanos-y-segundo-en-paltas-y-esparragos/>
- ASHRAE. (2018). Ashrae Refrigeration - Methods of precooling fruits, vegetables and cut flowers. Obtenido de <https://www.ashrae.org/advertising/handbook-advertising/refrigeration/index-handbook-cd-advertising-refrigeration-volume>
- ASHRAE. (2018). Methods of Precooling Fruit. Atlanta, Usa. Obtenido de [file:///D:/CICLO%20X%20\(2022-2\)/ayudas/Ashrae_2018_Refrigeration.pdf](file:///D:/CICLO%20X%20(2022-2)/ayudas/Ashrae_2018_Refrigeration.pdf)
- Ashrae Refrigeration. (2018). Ashrae. Obtenido de <https://www.ashrae.org/advertising/handbook-advertising/refrigeration/index-handbook-cd-advertising-refrigeration-volume>
- ASHRAE. (2018). Refrigeration - Cooling and Freezing Times of Food. Atlanta, Usa.
- Banco Central de Reserva del Perú. (Diciembre de 2020). Obtenido de <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Revista-Moneda/moneda-183/moneda-183-08.pdf>
- Cengel, Y. . (2019). Termodinámica. Mexico: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. DE C.V.
- Cenyel, Y. A. (2006). Termodinámica - 6 ta. Edición - Transferencia de calor y masa. (sexta ed.). Mexico: Mcgraw-Hill.
- Cerros, E. (15 de Agosto de 2016). Termonidamica de la congelacion y refrigeración. Obtenido de https://es.slideshare.net/DianaYucraRua/congelacion-de-alimentos-por-frio?from_action=save
- Confederación Nacional de productores de papa de la República Mexicana. (09 de Abril de 2014). Obtenido de

<https://www.conpapa.org.mx/index.php/blog/item/2-conservacion-de-alimentos-congelacion>

Friopacking. (2020). Obtenido de <https://friopacking.pe/3>

Dipúblico.org. (28 de Marzo de 1985). Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono. Recuperado el 20 de Junio de 2022, de Derecho Internacional: <https://www.dipublico.org/11303/convenio-de-viena-para-la-proteccion-de-la-capa-de-ozono-viena-22-de-marzo-de-1985/>

Dossat, R. J. (1997). Principios de la Refrigeración. Mexico: Continental.

FAO (Food and Agriculture of The United Nations). (2016). Table And Dried Grapes . Recuperado el 10 de Octubre de 2022, de <https://www.fao.org/3/i7042e/i7042e.pdf>

Friopacking. (Julio de 2020). Friopacking. Obtenido de <https://friopacking.pe/>

Froztec. (08 de junio de 2018). Froztec. Obtenido de <https://blog.froztec.com/guia-basica-principales-componentes-y-accesorios-en-la-refrigeracion-industrial>

ILERFRED. (2021). ILERFRED. Obtenido de <https://www.ilerfred.com/>

inacal. (25 de Junio de 2021). Inacal aprueba norma técnica peruana para impulsar estándares de calidad de las uvas de mesa. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/inacal/noticias/502265-inacal-aprueba-norma-tecnica-peruana-para-impulsar-estandares-de-calidad-de-las-uvas-de-mesa>

Lampe Ponce, J. (2010). Memoria Técnica Tunnel de enfriamiento. Chile.

Martinez Hernandez, C. J., Covarrubias Gutierrez, I., & Valle Guadarrama, S. (2010). Tiempo de enfriamiento en limones mexicanos, usando aire forzado y envases comerciales. Texcoco, Chapingo, México.

Mundo HVA C&R. (s.f.). Mundo HVA C&R. Obtenido de 2009: Mundo HVA C&R

Nuñez, K. (Junio de 2021). Repositorio Institucional Pihua. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11042/5031>

Palacios, P. C. (Marzo de 2018). Envases Y Embalajes Para La Exportación De Productos Agrícolas. Obtenido De Seminario Prom Perú.: <http://export.promperu.gob.pe/Miercoles/Portal/MME/descargar.aspx?archivo=14BD53D3-7A85-4016-B83E-B94C3BF02173.PDF>

Ponce, L. (2010). Memoria Técnica Tunnel de enfriamiento. Chile.

PROVID. (febrero de 2005). Asociación de Productores de Uva de Mesa del Perú. Norma Técnica Peruana para Uva de Mesa NTP. 011, 012-2005. Perú. Obtenido de https://www.provid.org.pe/wp-content/uploads/2019/04/norma_tecnica_uva_de_mesa.pdf

Red Agrícola. (Diciembre de 2020). Una conversación técnica sobre agricultura. Perú.

Red Agrícola. (12 de Noviembre de 2020). Obtenido de <https://www.redagricola.com/pe/del-campo-al-packing-las-claves-del-manejo-de-frio-para-garantizar-la-calidad-de-la-uva-de-mesa/>

Silva, O. (Abril de 2017). Depósito de investigación de la P Universidad de Sevilla. Sevilla. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11441/60385>

SENASA. (2014). procedimiento: certificación fitosanitaria de uva fresca (Vitis vinifera) Destinada A La Exportación. Obtenido de <https://www.senasa.gob.pe/senasa/descargasarchivos/2014/12/Procedimiento-exportacion-uva.pdf>

sistemas de refrigeración. (18 de Febrero de 2011). Obtenido de <https://sistemasderefrigeracion.blogia.com>

STAN, F. -C. (Junio de 2022). Codex Alimentarius - Normas Internacionales de los Alimentos. Obtenido de CXS 255-2007: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/>

Ulloa., J. V. (2012). Guía de Uso y Manejo de Amoníaco en la Refigreración. ASOEX, 30.

Yunus - Cenyel. (2004). Transferencia De Calor Y Masa. (4 ed.).

ANEXOS

Anexo 1

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Escala de medición
Independiente	Un sistema de refrigeración es aquel que mantiene una temperatura y humedad definida en una cámara frigorífica donde se almacena o procesa un producto, tales como frutas, hortalizas, carnes y pescados; al igual que precocidos, helados, o lácteos, en los que se logra en todo el proceso una ideal conservación y maduración de este. (sistemas de refrigeración, 2011)	Mejoramiento a nivel técnico operativo de las condiciones de conservación, teniendo en cuenta las características del sistema de refrigeración a partir del análisis de tiempo de enfriamiento.	Condiciones para la conservación de la uva	- Temperaturas. - Calor a extraer. - Humedad.	Razón
Optimización de los sistemas de refrigeración.			Características del sistema de congelamiento	- Tiempo de enfriamiento - Consumo de energía	
Variable Dependiente					
Tiempo de congelado de uva en una Planta Procesadora-Piura	Éste se define como el intervalo durante el cual la diferencia de temperatura entre el producto y el medio enfriador se reduce a la mitad. (Martínez, Covarrubias, & Valle, 2010)	Tiempo de enfriamiento promedio en el túnel continuo o de tipo california	Tiempo de enfriamiento del sistema actual. Tiempo de enfriamiento del sistema optimizado	- Tiempo de enfriamiento.	Razón

Anexo 2

General	Cant. 100 g. de porción
Agua	80.5 g.
Energía	71 kcal.
Grasas	0.58 g.
Proteínas	0.66 g.
Hidratos de Carbono	17.7 g.
Fibra	1 g.
Minerales	
Potasio	185 mg.
Sodio	2 mg.
Fósforo	13 mg.
Calcio	11 mg.
Magnesio	3 mg.
Hierro	0.26 mg.
Zinc	0.05 mg.
Vitaminas	
Vitamina c	10.8 mg.
Vitamina B1	0.092 mg.
Vitamina B2	0.057 mg.
Vitamina B6	0.110 mg.
Vitamina A	73 IU
Vitamina E	0.7 mg.
Folacina	4 mg.
Niacina	0.3 mg.

Nota. Valor nutricional total de la uva de mesa, adaptado de la revista web, (Agro-Negocio, 2020).

Anexo 3

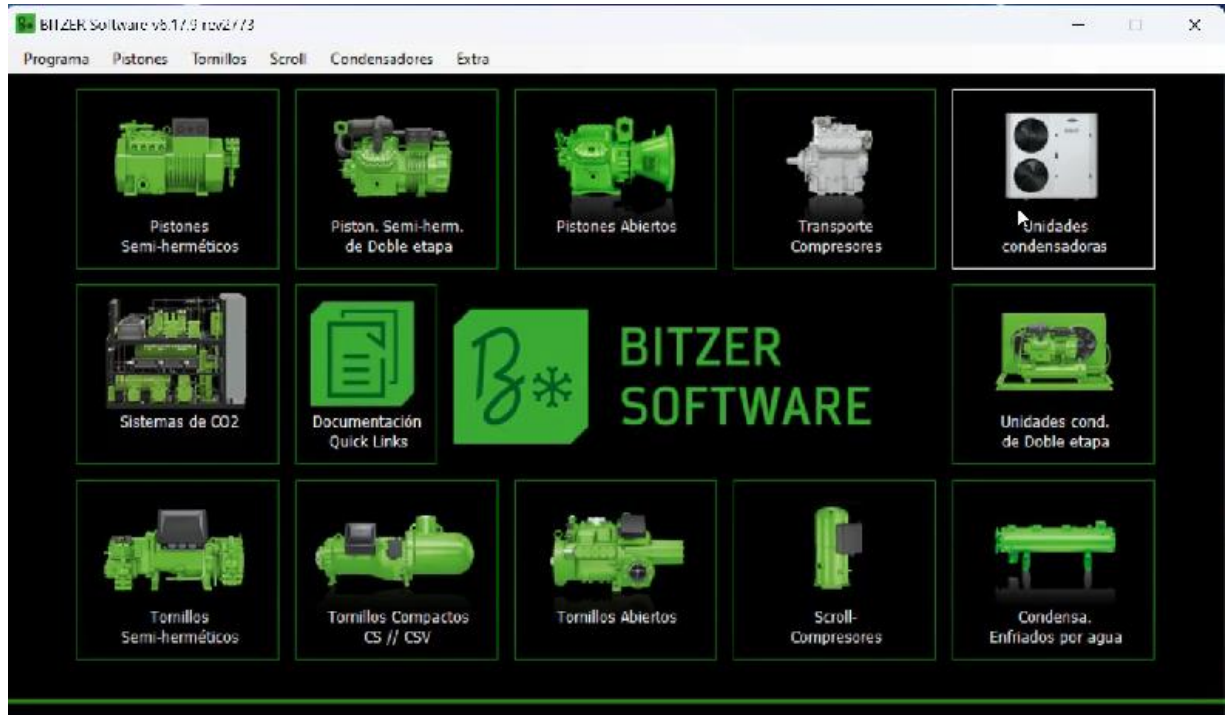
Tabla 2.1: Propiedades del R-717, líquido y vapor saturado

R-717, NH₃, Amoniac

T (°C)	P (kPa)	ρ_l (kg/m ³)	v_g (m ³ /kg)	h_l (kJ/kg)	h_g (kJ/kg)	s_l (kJ/kg·K)	s_g (kJ/kg·K)
-50	40.8	702.1	2.6289	-24.7	1391.2	0.094	6.440
-48	45.9	699.7	2.3565	-16.0	1394.6	0.133	6.399
-46	51.5	697.4	2.1169	-7.2	1397.9	0.172	6.358
-44	57.6	695.0	1.9057	1.5	1401.3	0.211	6.319
-42	64.3	692.6	1.7191	10.3	1404.5	0.249	6.281
-40	71.7	690.2	1.5539	19.2	1407.8	0.287	6.243
-38	79.7	687.7	1.4073	28.0	1411.0	0.324	6.206
-36	88.4	685.3	1.2769	36.9	1414.1	0.362	6.170
-34	97.9	682.8	1.1607	45.8	1417.2	0.399	6.134
-32	108.2	680.3	1.0570	54.7	1420.3	0.436	6.099
-30	119.4	677.8	0.9642	63.6	1423.3	0.473	6.065
-28	131.5	675.3	0.8810	72.6	1426.3	0.510	6.032
-26	144.6	672.8	0.8062	81.5	1429.2	0.546	5.999
-24	158.6	670.3	0.7390	90.5	1432.1	0.582	5.967
-22	173.8	667.7	0.6784	99.5	1434.9	0.618	5.935
-20	190.1	665.1	0.6237	108.6	1437.7	0.654	5.904
-18	207.6	662.6	0.5742	117.6	1440.4	0.689	5.874
-16	226.3	660.0	0.5294	126.7	1443.1	0.725	5.844
-14	246.4	657.3	0.4888	135.8	1445.7	0.760	5.814
-12	267.9	654.7	0.4518	144.9	1448.2	0.795	5.785
-10	290.8	652.1	0.4182	154.0	1450.7	0.829	5.757
-8	315.2	649.4	0.3875	163.2	1453.1	0.864	5.729
-6	341.2	646.7	0.3596	172.3	1455.5	0.898	5.701
-4	368.9	644.0	0.3340	181.5	1457.8	0.932	5.674
-2	398.3	641.3	0.3106	190.8	1460.1	0.966	5.647
0	429.6	638.6	0.2892	200.0	1462.2	1.000	5.621
2	462.6	635.8	0.2695	209.3	1464.3	1.034	5.595
4	497.7	633.1	0.2514	218.6	1466.4	1.067	5.569
6	534.8	630.3	0.2348	227.9	1468.4	1.100	5.544
8	573.9	627.5	0.2195	237.2	1470.3	1.133	5.519
10	615.3	624.6	0.2053	246.6	1472.1	1.166	5.494
12	658.9	621.8	0.1923	256.0	1473.9	1.199	5.470
14	704.9	618.9	0.1802	265.4	1475.5	1.232	5.446
16	753.3	616.0	0.1691	274.8	1477.2	1.264	5.422
18	804.2	613.1	0.1587	284.3	1478.7	1.297	5.399
20	857.8	610.2	0.1491	293.8	1480.1	1.329	5.376
22	914.0	607.2	0.1402	303.3	1481.5	1.361	5.353
24	972.9	604.3	0.1320	312.9	1482.8	1.393	5.330
26	1034.8	601.3	0.1243	322.5	1484.0	1.425	5.307
28	1099.5	598.2	0.1171	332.1	1485.1	1.456	5.285
30	1167.4	595.2	0.1104	341.8	1486.2	1.488	5.263
32	1238.3	592.1	0.1042	351.5	1487.1	1.520	5.241
34	1312.5	589.0	0.0984	361.2	1488.0	1.551	5.219
36	1390.0	585.8	0.0930	371.0	1488.7	1.582	5.198
38	1470.9	582.6	0.0879	380.8	1489.4	1.613	5.176
40	1555.3	579.4	0.0831	390.6	1489.9	1.645	5.155
42	1643.3	576.2	0.0786	400.5	1490.4	1.676	5.134
44	1735.1	572.9	0.0745	410.5	1490.7	1.707	5.113
46	1830.6	569.6	0.0705	420.5	1491.0	1.737	5.092
48	1930.0	566.3	0.0668	430.5	1491.1	1.768	5.071
50	2033.5	562.9	0.0634	440.6	1491.1	1.799	5.050
52	2141.0	559.4	0.0601	450.8	1491.0	1.830	5.029
54	2252.8	556.0	0.0570	461.0	1490.8	1.860	5.008
56	2368.9	552.4	0.0541	471.2	1490.5	1.891	4.988
58	2489.4	548.9	0.0514	481.6	1490.0	1.922	4.967
60	2614.5	545.2	0.0488	492.0	1489.4	1.952	4.946
62	2744.2	541.6	0.0464	502.4	1488.6	1.983	4.926
64	2878.7	537.8	0.0441	513.0	1487.7	2.014	4.905
66	3018.1	534.1	0.0419	523.6	1486.6	2.044	4.884
68	3162.5	530.2	0.0398	534.3	1485.4	2.075	4.863
70	3312.0	526.3	0.0379	545.0	1484.1	2.105	4.842

Fuente: Tillner-Roth, Harms-Watzenberg, and Bachr, *Eine neue Fundamentalgleichung für Ammoniak*, DKV-Tagungsbericht 20:167-181, 1993.

Anexo 4



ANEXO 5

CoolPack

File Settings Options Help

Refrigeration Utilities | CoolTools: Cycle Analysis | CoolTools: Design | CoolTools: Evaluation | CoolTools: Auxiliary | Dynamic

Refrigeration Utilities

- Refrigeration Utilities
 - Refrigerant Calculator
 - Heat Transfer Fluids Calculator
- CoolTools: Cycle Analysis
 - One-stage cycle with DX evaporator
 - One-stage cycle with flooded evaporator
 - Two-stage cycle - DX evaporators
 - Two-stage cycle - Liquid injection i
 - Two-stage cycle - Liquid injection ii
 - Two-stage cycle - Flooded evaporator
 - Two-stage cycle - Flooded evaporator
 - Combination of one-stage cycles, s
 - Combination of one-stage cycles, t
 - One-stage transcritical cycle with CO₂
 - Two-stage transcritical cycle with CO₂
- CoolTools: Design
 - Design tools for a ONE-STAGE cycle
- CoolTools: Evaluation
 - Evaluation of operation and energy
 - Evaluation of operation and energy
- CoolTools: Auxiliary
 - Compressor - isentropic and volumetric efficiencies
 - Evaporator - UA-Value
 - Condenser - UA-Value
 - Air cooler - cooling and dehumidification of moist air
 - Gas pipes - pressure drop and heat transfer
 - Liquid pipes - pressure drop and heat transfer
 - Refrigerants - Thermodynamical and thermophysical (transport) properties
 - Moist air - Thermodynamical and thermophysical (transport) properties
 - Comparison of three refrigerants in a simple refrigeration cycle
 - Cooling demand for a cold room
 - Cooling demand for a liquid cooler
 - Cooling demand for a display cabinet
 - Cooling demand for an air-conditioned room
 - Life cycle cost

CoolTools: Auxiliary

COMPONENTS:

- Compressor - isentropic and volumetric efficiencies
- Evaporator - UA-Value
- Condenser - UA-Value
- Air cooler - Cooling and dehumidification of moist air

PIPES:

- Gas pipes - Pressure drop and heat transfer
- Liquid pipes - Pressure drop and heat transfer

PROPERTIES:

- Refrigerants - Thermodynamical and thermophysical (transport) properties
- Moist air - Thermodynamical and thermophysical (transport) properties

COMPARISON OF REFRIGERANTS:

- Comparison of three refrigerants in a simple refrigeration cycle

COOLING DEMAND:

- Cold room
- Liquid cooler
- Refrigerated display cabinets
- Air-conditioned room

ECONOMY:

- Life cycle cost

Anexo 6

Bienes	Porcentaje máximo anual de depreciación
Ganado de trabajo y reproducción; redes de pesca	25 %
Vehículos de transporte terrestre (excepto ferrocarriles); hornos en general	20 %
Maquinaria y equipo utilizados por las actividades minera, petrolera y de construcción; excepto muebles, enseres y equipo de oficinas	20 %
Equipos de procesamiento de datos	25 %
Maquinaria y equipo adquirido a partir del 01- 01-91	10 %
Otros bienes del activo fijo	10 %



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SALAZAR MENDOZA ANIBAL JESUS, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis Completa titulada: "Optimización del sistema de refrigeración, para reducir tiempo de congelado de uva en una planta procesadora – Piura", cuyo autor es CARNERO CALLE JOAO FICEDARAED DAVID, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 15.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis Completa cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 10 de Diciembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
SALAZAR MENDOZA ANIBAL JESUS DNI: 16720249 ORCID: 0000-0003-4412-8789	Firmado electrónicamente por: AJSALAZARM el 10- 12-2022 12:37:03

Código documento Trilce: TRI - 0481914