

**UNIVERSIDAD SAN PEDRO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERIA MECANICA  
ELECTRICA**



**Implementación de una torre de enfriamiento para mejorar la  
disipación de calor en la zona de autoclaves de la empresa Virú S.A**

**Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico  
Electricista**

**Autor:**

**Lázaro Vilela, Frank Jorman**

**Asesor(a) – Código ORCID**

**Avalos García, Ramón Napoleón**

**Código 0000-0002-6206-278X**

**CHIMBOTE – PERÚ**

**2022**

## **PALABRAS CLAVE**

Calor disipado, planta de autoclave, torre de enfriamiento.

## **KEYWORD**

Dissipated heat, autoclave plant, cooling tower.

**ESPECIALIDAD:** Ingeniería Mecánica

**LINEA DE INVESTIGACION:**

**Facultad** : Ingeniería Mecánica

**Área** : Ingeniería y Tecnología

**Sub área** : Ingeniería Mecánica

**Disciplina** : Ingeniería Mecánica

**Línea de Investigación** : Sector Mecánica

**Título:**

**Implementación de una torre de enfriamiento para mejorar la disipación de calor en la zona de autoclaves de la empresa Virú S.A.**

## Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad implementar torres de enfriamiento en el área de autoclaves de la Empresa Virú S.A. para mejorar la disipación de calor. El método de investigación fue un diseño experimental en la categoría pre experimental, utilizando un estímulo (implementación de una torre de enfriamiento) con un solo grupo control (G: equipo autoclave) para determinar su efecto en la variable dependiente (disipación de calor).

Primero se realizó una evaluación actual de la carga térmica de las tres plantas de autoclave obteniéndose un total de 5 880 379 kCal/h este es el calor que genera el proceso de autoclaveado se debe disipar en el sistema de Torres de Enfriamiento a plena carga para un tiempo de permanencia de 20 min. En segundo lugar, se realizó el cálculo térmico de la torre de enfriamiento tipo de tiro inducido a contraflujo (contracorriente) determinándose un caudal de agua de enfriamiento de 203 m<sup>3</sup>/h, obteniéndose una la carga térmica de calor es 3879.4 kW

Tercero se realizó el cálculo y selección de equipos auxiliares como bombas centrífugas: para el circuito – torre se ha seleccionado 02 bombas marca Hidrostral, modelo 125-250, para el circuito – planta se ha seleccionado 03 bombas marca Hidrostral, modelo 50-200. Calculo y selección de Tuberías: circuito – torre: DN 12” y 8” para aspiración e impulsión, respectivamente, circuito – planta: DN 8” aspiración 6” impulsión, respectivamente. Finalmente se realizó una evaluación de los costos de la implementación del sistema de enfriamiento obteniéndose un monto total de S/. 656 076.13.

## **Abstract**

The purpose of this research work is to implement a cooling tower to improve heat dissipation in the autoclave area of the company Virú S.A. The research methodology is an experimental design in the pre-experimental category, working with a single control group (G: Autoclave Equipment) to which a stimulus is applied (Implementation of the Cooling Tower) to determine its effect on the dependent variable (Heat Dissipation).

First, a current evaluation of the thermal load of the three autoclave plants was carried out, obtaining a total of 5 880 379 kCal / h. This is the heat generated by the autoclaving process must be dissipated in the Cooling Tower system at full load to a residence time of 20 min. Second, the thermal calculation of the counter-flow induced draft cooling tower (countercurrent) was carried out, determining a cooling water flow of 203 m<sup>3</sup> / h, obtaining a thermal heat load is 3879.4 kW.

Third, the calculation and selection of auxiliary equipment such as centrifugal pumps was carried out: 02 Hidrostral brand pumps, model 125-250, have been selected for the circuit - tower, for the circuit - plant 03 Hidrostral brand pumps, model 50-200 have been selected. Calculation and selection of Pipes: circuit - tower: DN 12 "and 8" for suction and impulsion, respectively, circuit - plant: DN 8 "suction 6" impulsion, respectively. Finally, an evaluation of the costs of the implementation of the cooling system was carried out, obtaining a total amount of S / . 656 076.13

# Índice

PALABRAS CLAVE	II
Título:	III
Resumen	IV
Abstract	V
Índice	VI
I. INTRODUCCIÓN	1
II. METODOLOGÍA	43
III. RESULTADOS	47
IV. ANALISIS Y DISCUSION	71
V. CONCLUSIONES	74
VI. RECOMENDACIONES	76
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	77
VIII. AGRADECIMIENTOS	81
IX. ANEXOS Y APENDICES	82

## **I. Introducción**

Perú produce principalmente dos tipos de espárragos: el espárrago blanco, que crece bajo tierra y se utiliza principalmente para conservas (40%), pero exporta una mayor proporción de espárragos frescos (52%). Así como espárragos verdes frescos exportados a diferentes mercados principalmente vía aérea. El producto tiene una variedad de especificaciones, el mercado europeo prefiere las más gruesas y el mercado norteamericano prefiere las medianas y delgadas. En 2013, los principales sectores productores de espárrago fueron La Libertad (49,96%) e Ica (39,85%), que concentraron el 89,8% de la producción total. (Ballou, R., 2004)

Los principales importadores de espárrago verde peruano son Estados Unidos (64%), España (11%), Holanda (8%) y Reino Unido (8%), constituyendo los principales mercados de destino de la exportación de esta hortaliza. Otros mercados como Australia y Asia tienen una demanda estacional muy importante. (Anaya T. y Polanco M., 2007).

Perú tiene una ventaja comparativa muy amplia debido a su ubicación geográfica y climática, lo que le permite obtener una cosecha de 2 años con retornos muy atractivos (\$407 millones en ventas). (Valdés P., 1988).

En los últimos años, sin embargo, han surgido diferentes fenómenos climáticos por el calentamiento global, dificultades por medidas no arancelarias que constituyen barreras comerciales y afectan ciertas condiciones de acceso a mercados, medidas macroeconómicas internas que perjudican a la agricultura, problemas en la organización de productores e instituciones públicas. reducir la inversión en áreas como capital y tecnología. (Anaya T., 2011)

Sociedad Agrícola Virú S.A., Empresa agroindustrial, ubicada en el distrito de Virú de la provincia de Trujillo, La Libertad es líder en la fabricación de conservas vegetales en el Perú, operando más de 5,000 hectáreas de terreno entre Virú y Chincha, sin embargo, en este estudio de ingeniería, continuar con la implementación detallada del sistema de enfriamiento del autoclave ubicado en el sector La Libertad de la provincia de Trujillo, en el distrito de Virú. Son una empresa moderna y dinámica que

utiliza las últimas tecnologías de producción, la aplicación de soluciones logísticas y alianzas estratégicas con líneas navieras y almacenes alrededor del mundo para entregar productos de manera inmediata a sus destinos. Sus campos e instalaciones están estratégicamente ubicados en los fértiles valles de Volu, Tarapoto y Chíncha en el norte, noreste y sur del Perú. Cuentan con más de 7.000 hectáreas de espárragos blancos y verdes cultivables, alcachofas, aguacates, pimientos, mangos y palmitos.

Domicilio de la Empresa: Domicilio Legal: Car. Panamericana Norte Km. 521 (ubicado en Carret. Panam. Norte 1260 Mts. Km. 521). Nuestros campos están ubicados estratégicamente en los fértiles valles de Virú, Tarapoto y Chíncha en el norte, noreste y sur del Perú, reduciendo los riesgos por el cambio climático y optimizando la calidad del proceso productivo. Nuestras actividades productivas se realizan en 6 fábricas ubicadas en los valles de Virú, Chíncha y Sullana, las cuales cuentan con modernos sistemas analíticos que nos permiten controlar la calidad de nuestros productos. Virú, La Libertad • 2 fábricas de conservas. • 1 Fábrica de Salsas. • 1 planta de frescos. • 1 planta congelada.

Durante su elaboración, la materia prima pasa por una máquina llamada exhauster, un dispositivo formado por canales de chorro de vapor (80 - 95°C), según el producto. A la salida de la máquina extractora, el operador tapa el recipiente de vidrio o cierra el frasco y los mete en el carro, llevándolos a las autoclaves de acero inoxidable donde son tratados térmicamente a una temperatura (esterilización) y tiempo determinados. Una vez finalizada la esterilización, la válvula de entrada de vapor se detiene y la bomba de enfriamiento hace que la válvula de agua se abra para comenzar a enfriar. Entonces la empresa Virú S.A. emplea agua para el enfriamiento, en tal sentido como parte de su compromiso ambiental para lograr el uso racional de este recurso no renovable se ha propuesto instalar un Sistema de Torres de Enfriamiento para disminuir el consumo de este vital elemento, asimismo lograr una mejora en los costos de sus procesos en planta Virú. Debido a la optimización del uso de recursos hídricos, se desea implementar un circuito de enfriamiento para algunas autoclaves localizadas en la planta.

## 1.1. Antecedentes de la Investigación

Es importante en nuestra investigación seleccionar los antecedentes, aquellos trabajos previos que proporcionan un mejor panorama referente al tema de estudio, se revisaron diversas fuentes relacionadas con el trabajo de investigación, entre ellas podemos mencionar los de mayor relevancia.

Se realizó una revisión de la bibliografía para un mejor panorama y conocimiento del tema de estudio, entre ellas podemos mencionar a Celestino y Fernández (2017). En su tesis titulada: Rendimiento térmico de una torre de enfriamiento de tiro forzado en contracorriente, Diseñado para evaluar la eficiencia del dispositivo y el número de unidades de transferencia (NTU). Los autores concluyeron que el rango, la eficiencia y la NTU disminuyeron al aumentar la relación L/G en cada temperatura, variando desde 12,94, 11,57 y 10,22 °C para 30 °C y L/G 0,1303, 0,3356 y 0,4807, a 40 °C y L/ G 0,1855, 0,2924 y 0,4503 entre 22,35, 20,81 y 16,49 °C y 50 °C y L/G 0,1686, 0,3071 y 0,4342 entre 32,14, 29,21 y 25,76 °C respectivamente. Además, las eficiencias variaron de 79.26%, 72.11% y 61.12% a 30°C y L/G 0.1303, 0.3356 y 0.4807, respectivamente, y de 85.05%, 0.2924 y 0.4503 a 40°C y L/G 0.1855, 0.2924 y 0,4503, respectivamente 77,80 % de cambio y 66,44 % y 50 °C y L/G 0,1686, 0,3071 y 0,4342 cambios de eficiencia de 88,23 %, 80,81 % y 71,82 %, respectivamente. También a 30 °C y L/G 0,1303, 0,3356 y 0,4807, las NTU fueron 0,3464, 0,2797 y 0,1979, respectivamente, y a 40 °C y L/G 0,1855, 0,2924 y 0,4503, las NTU fueron 0,3694, 0,2872 y 0,1979, respectivamente. respectivamente °CC y L/G 0.1686, 0.3071 y 0.4342 NTU fueron 0.3950, 0.2861 y 0.2008, respectivamente. Por otro lado, el alcance y la eficiencia aumentan con el aumento de la temperatura.

Además, es importante resaltar el aporte de Aguilar (2017). En su tesis titulada: Diseño y optimización de una torre de enfriamiento de tiro inducido, El objetivo es hacer recomendaciones de diseño para torres de enfriamiento de cualquier dimensión comparando los resultados con datos obtenidos de torres de grado industrial a través de análisis y pruebas realizadas en torres piloto ubicadas en el laboratorio de operación única de ESIIE. Los autores concluyeron que las relaciones de alimentación, así como la temperatura, juegan un papel crucial en el funcionamiento de la torre, ya que

modifiquen o no los coeficientes de transferencia de masa, ellos mismos afectan la eficiencia máxima esperada en la columna. Perturbar la relación óptima con cualquiera de las dos alimentaciones dará como resultado rendimientos muy bajos o muy altos, en cuyo caso la torre desperdiciará su capacidad de enfriamiento, o en este caso, se sobrecargará de modo que el agua de alimentación no pueda disminuir. Por otro lado, trabajar con ratios de suministro fuera de los límites óptimos genera costes de consumo de energía innecesarios. Cuando la relación de suministro está limitada entre 0,9 y 1,7, y la diferencia de temperatura es grande, la eficiencia de la torre de enfriamiento de tiro inducido será del 35 % siempre que la temperatura ambiente sea de 20 a 25 °C más baja, donde el diseño esperaba el máximo eficiencia del 45%, los datos de diseño proporcionados por el operador y se pueden modificar manipulando la relación de suministro y aumentando la temperatura del agua que ingresa a la torre.

En esa misma línea Paucar y Vas (1999), en su tesis titulada: Diseño y construcción de una torre de enfriamiento de tiro inducido con flujo en contracorriente, tuvo como objetivo realizar una evaluación teórica experimental del diseño y construcción de torres de enfriamiento a nivel de planta piloto. Los autores concluyen que el costo total de la torre de enfriamiento es de \$5.380,7, de los cuales solo el 55% corresponde a la torre de enfriamiento propiamente dicha, descontando líneas de aire, mezcladores, líneas de vapor, tanques de almacenamiento, etc. Si desea instalar un sistema de enfriamiento que sea similar en tamaño y material de construcción al material utilizado, este porcentaje es una cantidad aproximada de dinero que necesitaría gastar. Además, el valor de caída de presión obtenido a través de la torre es de aproximadamente: entre 0,5 pulgadas. Caída de 0,05 pulgadas entre el agua y la captura. El agua estaba al máximo caudal. Estos valores de caída de presión son relativamente bajos en comparación con la caída de presión lograda con una junta Rasching de cerámica de pared de 1,6 mm de 2 "cerca de 6" de agua. El bajo valor de caída de presión permite un flujo de aire uniforme a través de la junta para un área de contacto más grande.

Respecto a las investigaciones de la operación de los Autoclaves podemos mencionar a Mendoza y Zavala (2013). En su tesis titulada: Diseño y pruebas de funcionamiento de un sistema para esterilización comercial de Alimentos. Su finalidad es diseñar y evaluar un dispositivo de esterilización (autoclave) para eliminar microorganismos capaces de provocar intoxicaciones alimentarias. Los autores concluyeron que, dada la posible producción de un máximo de 72 latas No. 1 (picnic) y el procesamiento de un alimento que requiere alta energía para elevar su temperatura en 1°C (capacidad calorífica), esto cubre la cantidad de tiempo requerido para esterilizar una lata, la mayoría de los procesos térmicos requeridos. Amplia variedad de comida. Y teniendo en cuenta las pérdidas de calor en el equipo se concluyó que se utilizó un quemador de 15.000 Btu/h.

El tiempo de trabajo del equipo depende en gran medida del calor que aporta el mechero y este calor depende de la presión del gas utilizado, si la presión es baja, la llama del mechero es baja, por lo que el tiempo de práctica aumentará y viceversa. Hasta ahora, el quemador produce el calor necesario para elevar la temperatura a 121°C en un máximo de 2 horas y 30 minutos, que puede reducirse si se aumenta la presión del gas. El quemador debe aumentar la temperatura en 1°C por minuto para un calentamiento adecuado.

Es importante mencionar a Olin (2015). En su tesis titulada: Diseño e implementación de un sistema para la evaluación del tratamiento térmico de alimentos envasados. El objetivo es evaluar automáticamente los procesos térmicos en autoclaves para la industria de exportación de alimentos empacados para ahorrar tiempo y costos al analizar los valores mínimos de calor-tiempo muerto de los productos y almacenar estos resultados en un archivo de Excel. Los autores concluyeron que, mediante el diseño de un programa utilizando el software Labview, se evaluó el tratamiento térmico de alimentos envasados, y con un caso especial de diferentes tipos de envases de alcachofa, se pudo observar en el programa gráficos en tiempo real de temperatura, letalidad valor, valor Fo, así como el valor Fo mínimo y el número de termopar que representa la muestra correspondiente, la duración del

tratamiento térmico. Todos estos valores obtenidos por el programa se registran en un archivo de Excel.

Finalmente, Gaviria y Mazuera (2010). En su artículo titulado: Evaluación del tratamiento térmico de las arvejas enlatadas (*Pisum Sativum*) en salmuera. Tuvo como objetivo describir el correcto proceso térmico en el Autoclave para los vegetales enlatados, en la parte experimental, con el fin de determinar los parámetros de tiempo y temperatura adecuados para la obtención de productos alimenticios estériles comerciales, se realizaron estudios de ósmosis térmica a los productos. La conclusión del trabajo es que en cada etapa del proceso de enlatado se debe contar con controles de equipos para evitar la contaminación, ya que, a menor carga microbiana inicial del producto, menor tiempo de calentamiento se requiere para lograr la destrucción microbiana deseada. Por lo tanto, los alimentos enlatados pueden carecer de un tratamiento térmico adecuado si la carga microbiana inicial en el producto es muy alta. En una prueba de penetración de calor en arvejas enlatadas, el análisis de letalidad por el método Ball mostró un tiempo y temperatura de 17 minutos a 121°C, lo que asegura la esterilidad comercial del producto y la vida útil declarada.

Durante las pruebas en autoclave, se determinó que la variable más crítica a controlar durante el tratamiento térmico es la temperatura de esterilización (T.R), ya que las desviaciones en este parámetro pueden afectar significativamente el tiempo. De no corregirse esta desviación a tiempo, el producto no cumplirá con los requisitos comerciales de esterilidad, ocasionando pérdidas económicas al negocio y poniendo en peligro la salud de los consumidores.

El presente desarrollo de investigación tuvo como propósito principal evaluar la implementación de torres de enfriamiento para mejorar la disipación de calor en el área de autoclaves mediante el enfriamiento del agua requerida en el área.

La empresa Virú S.A., Empresa líder en la exportación de productos agroindustriales para los mercados internacionales más exigentes, conformada por un complejo de inversiones de capital de origen peruano, inició operaciones de producción y exportación en 1994. La empresa opera en varias localidades a lo largo

de la costa peruana abarcando gran parte norte del Perú, principalmente en las provincias de Trujillo, Virú y Chincha. Opera más de 5.000 hectáreas de terreno entre Virú y Chincha.

En sus procesos en fabricación de conservas vegetales La empresa Virú S.A. utiliza las autoclaves para la esterilización de los productos, en ese proceso que consta de tres etapas: calentamiento, esterilización y enfriamiento, en la etapa tres requiere de grandes cantidades de agua para el enfriamiento de 10 autoclaves (planta 1 (4 autoclaves), planta 2 (4 autoclaves) y planta 6 (2 autoclaves)) en forma simultánea, en tal sentido es importante lograr un eficiente enfriamiento en el tiempo menor tiempo de operación, asimismo como parte de su compromiso ambiental para lograr el uso racional de este recurso no renovable se ha propuesto instalar un Sistema de Torres de Enfriamiento para disminuir el consumo de este vital elemento. En ese sentido justificación se propone en los siguientes ámbitos:

*Justificación Tecnológica:* porque se procederá a realizar en detalle la evaluación de un sistema de enfriamiento de la zona de las autoclaves, que permitirá implementar un circuito de enfriamiento con torres de enfriamiento que cubran la demanda de calor que se requiere disipar en determinadas autoclaves localizadas en la planta y con ello mejorar el proceso.

*Justificación Económica:* porque permitirá el ahorro respecto a las grandes cantidades de agua que se vertían con un grado de temperatura no deseada y ahora este se recirculara en la torre de enfriamiento.

*Justificación Social:* porque se mejorará en su totalidad el uso del agua potable de consumo humano de manera segura, confiable y estable.

*Justificación Institucional:* porque en esta investigación aplicaremos una metodología de cálculo para el dimensionamiento del sistema de enfriamiento basado en la ingeniería térmica y selección de equipos para el ahorro de energía, por ello se aplicará un procedimiento basado en las teorías fundamentales y aplicaciones tecnológicas.

Por lo tanto, nos planteamos la siguiente pregunta de investigación:

***¿En cuánto se podrá mejorar la disipación de calor con la implementación de una torre de enfriamiento en el proceso de enfriamiento de los productos en las autoclaves de la empresa Virú S.A.?***

A continuación, presentaremos los fundamentos teóricos relevantes para el trabajo de investigación:

## **1.2. Fundamentación científica**

### **1.2.1 Torre de Enfriamiento**

Mendoza y Gallardo (2016), Muestra que la construcción de torres de enfriamiento se vuelve imperativa cuando una planta requiere un gran caudal de agua en el proceso de enfriamiento, considerando principalmente los aspectos económicos de hacerla funcionar desde la perspectiva del costo y costo incurrido en la construcción de la torre. Para llegar a un equilibrio económico, se justificará suficientemente su construcción, en caso contrario se desechará el agua caliente y se utilizará agua nueva para el proceso, como plantas químicas o industrias que requieran grandes cantidades de agua fría. Utilizado como refrigerante en dispositivos de intercambio de calor. La planta puede estar ubicada en un lugar con escasez de agua, por lo que su instalación debe incluir una torre de enfriamiento para que el agua pueda ser reutilizada.

Una torre de enfriamiento es un dispositivo utilizado para enfriar grandes volúmenes de agua, extrayendo calor del agua por evaporación o conducción. El proceso es económico en comparación con otros equipos de enfriamiento que enfrían a través de paredes, como los intercambiadores de calor.

El agua se introduce a través de la cúpula de la torre a través de vertederos o boquillas para distribuir el agua sobre la mayor superficie posible. El enfriamiento ocurre cuando el agua que cae de la torre entra en contacto directo con una corriente de aire en contracorriente o de flujo cruzado que es más fría que la temperatura del agua. Bajo estas condiciones, el agua se enfría por transferencia de masa (evaporación), lo que resulta en un aumento de la temperatura y humedad del aire y

disminución de la temperatura del agua; La temperatura límite de refrigeración es la temperatura del aire a la entrada de la torre. Parte del agua evaporada emite más calor, razón por la cual el vapor de agua se puede ver sobre las torres de enfriamiento. (Mendoza et al. 2016).

### **Clasificación de las torres de enfriamiento**

Sin embargo, según el Instituto para la Diversificación y Conservación de la Energía: IDAE (2007), existen varias características que clasifican las torres de refrigeración. Guía técnica de torres de enfriamiento, las torres de enfriamiento se clasifican de la siguiente manera:

#### **Torres abiertas de tiro inducido**

Este tipo de torre dispone de un ventilador axial con accionamiento directo por correa o, en algunos modelos de mayor tamaño, por reductor, desplazando el motor hacia el exterior del flujo de aire húmedo. La aspersion de agua es a través de boquillas, y el fabricante indicará la presión recomendada en el colector de distribución para seleccionar la bomba adecuada en el sistema.

#### **Torres abiertas de tiro forzado**

Se pueden incorporar ventiladores centrífugos o axiales, generalmente en un lado de la carcasa (en algunos diseños, los ventiladores se incorporan en ambos lados, con la separación interna adecuada para evitar el flujo inverso). En el caso de los ventiladores axiales, el motor suele ir acoplado directamente al ventilador.

Cuando se usa un ventilador centrífugo, se usa una transmisión por correa.

La pulverización de agua se suele realizar a través de boquillas, y el fabricante indicará la presión recomendada en el colector de distribución para seleccionar la bomba adecuada en el sistema.

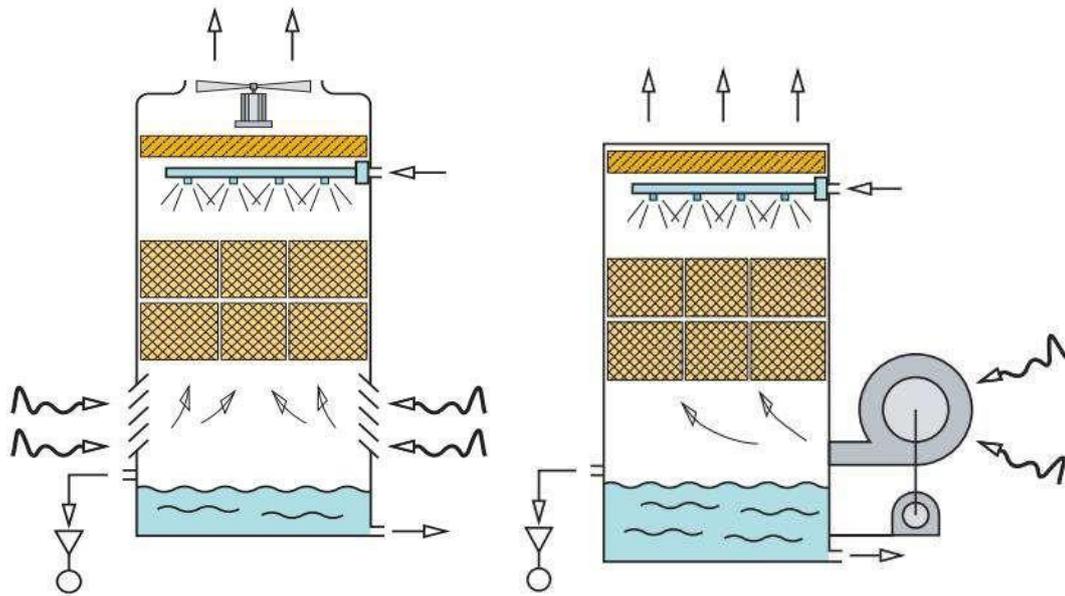


Figura 1. Esquema general de torre abierta de tiro inducido (izquierda) y torre abierta de tiro forzado (derecha)

Fuente: IDAE. Guía técnica de torres de refrigeración (2007).

### **Torres abiertas de flujo cruzado y tiro forzado**

Los ventiladores axiales suelen ser de gran diámetro y baja velocidad, impulsados por una transmisión por correa y relaciones de transmisión adecuadas en las poleas.

La aspersión de agua en estos modelos suele ser por gravedad desde una bandeja colectora de agua caliente, la distribución adecuada se logra mediante boquillas y ajustes deslizantes en la bandeja. La bomba de circulación no requiere presión adicional (salvo que se alcance la presión requerida para el nivel superior de la torre, para lo cual se debe considerar la altura del equipo).

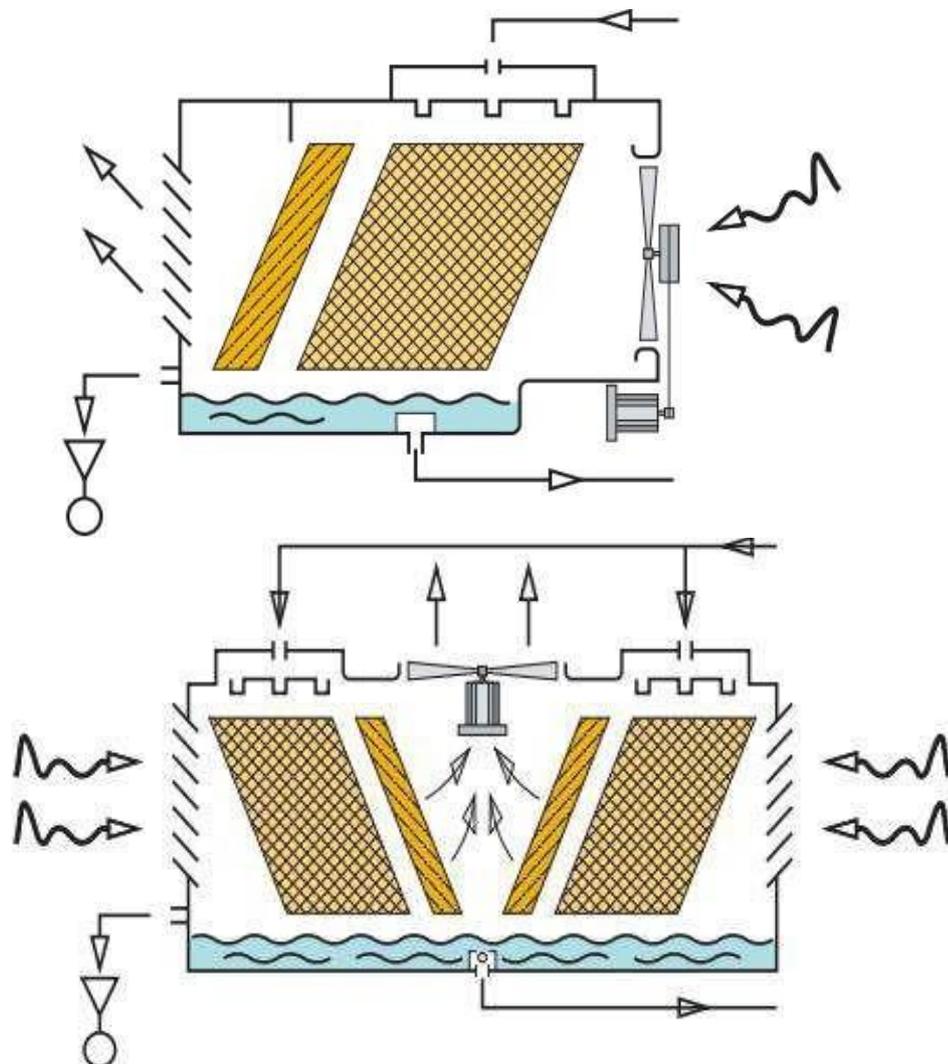
### **Torres abiertas de flujo cruzado y tiro inducido**

Este diseño se utiliza para equipos medianos y grandes. La entrada de aire se realiza en ambos extremos con dos bloques de empaque y un ventilador central accionado por una transmisión por correa o un motor de acoplamiento directo.

El rociado de agua en estos modelos generalmente es por gravedad desde una bandeja de recolección de agua caliente en cada bloque de llenado; la distribución

adecuada se logra mediante boquillas y ajustes deslizantes en la bandeja. La bomba de circulación no requiere presión adicional (salvo que se alcance la presión requerida para el nivel superior de la torre, para lo cual se debe considerar la altura del equipo).

La especial inclinación del relleno persigue una distribución uniforme del agua durante el descenso para compensar el empuje lateral del aire. El separador se coloca verticalmente en el interior del embalaje, aumentando su eficiencia al facilitar su descarga.



*Figura 2.* Esquema general de torre abierta de flujo cruzado y tiro forzado (arriba) y tiro inducido (abajo)

Fuente: IDAE. Guía técnica de torres de refrigeración (2007).

## **Torres de circuito cerrado de tiro forzado**

Una característica importante de este tipo de dispositivos es su configuración generalmente alargada para facilitar la colocación de bobinas con distancias significativas entre curvas para mejorar su comportamiento hidrodinámico y rendimiento térmico.

La mayoría de ellos están equipados con ventiladores centrífugos, generalmente dispuestos en un lado de la carcasa y accionados por una transmisión por correa trapezoidal.

Algunos diseños incorporan ventiladores axiales, en este caso en la parte superior, con los motores directamente acoplados, dispuestos en línea y funcionando por tiro inducido.

La pulverización de agua se suele realizar a través de boquillas, y el fabricante indicará la presión recomendada en el colector de distribución para seleccionar la bomba adecuada en el sistema.

Las torres de circuito cerrado son más grandes y pesadas (entre 1,5 y 2 veces) que las torres de circuito abierto de capacidad equivalente porque los serpentines requieren una superficie más grande que el empaque de circuito abierto para proporcionar la superficie de enfriamiento y la evaporación necesaria. Por razones constructivas, también son más caros (2 a 3 veces más caros) que sus contrapartes abiertas.

La ventaja es que el agua de proceso se mantiene limpia y debidamente tratada en la carga inicial, evitando incrustaciones, corrosión y problemas de incrustaciones en condensadores, intercambiadores, máquinas, etc. Otra ventaja añadida de la refrigeración es que el agua de refrigeración (agua evaporada) sólo recircula dentro del propio equipo y no rebasa el resto del sistema, facilitando y reduciendo el coste de los tratamientos relacionados con el saneamiento, la atmósfera y la calidad del agua.

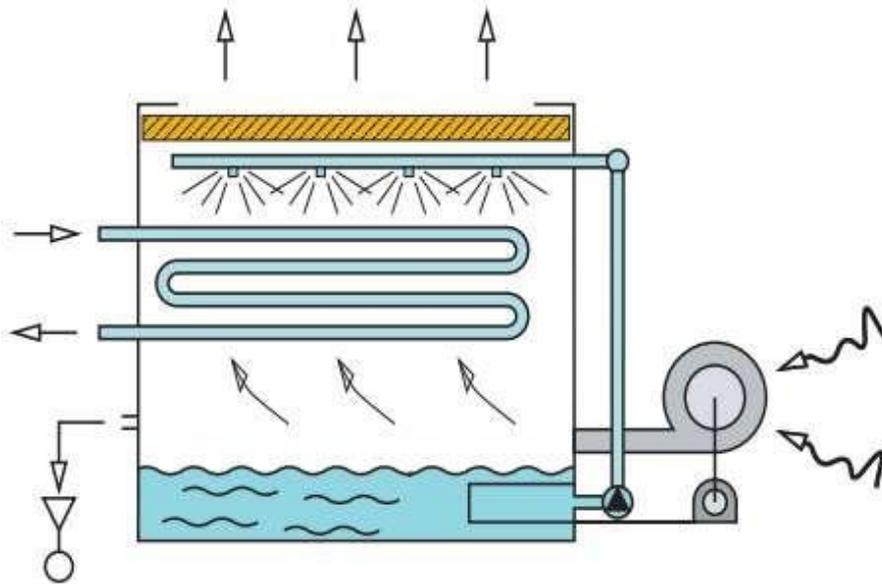


Figura 3. Esquema general de torre cerrada de tiro forzado  
Fuente: IDAE. Guía técnica de torres de refrigeración (2007).

### **Torres híbridas de circuito cerrado**

Dado que el fabricante lo incluye en su catálogo, existen diversas normativas para este innovador dispositivo. Los modelos esquemáticos son ventiladores de tiro inducido y ventiladores axiales, pero también existen ventiladores axiales o centrífugos y otras disposiciones de ventiladores de tiro inducido o ventilación forzada, según la inspiración o posibilidades de cada fabricante. Posee un serpentín adicional con aletas en su parte superior (o en un costado, arriba de la toma de aire de la unidad) que realiza un intercambio en seco antes de iniciar el proceso de evaporación del agua. Durante períodos más o menos largos del año, según la ubicación y el uso, puede funcionar con una tasa de evaporación más baja o incluso secarse por completo. Sus dimensiones planas son similares a su equivalente de circuito cerrado, pero generalmente es mayor en altura y peso. También son más caros (2 a 3 veces más caros) por razones constructivas.

Sus beneficios son las de los dispositivos de circuito cerrado. Además, en cálculos anuales, el ahorro de agua (y el consiguiente saneamiento y



eliminador de rocío o separadores de goteo, tomas de aire, persianas, boquillas y ventiladores, como se describe a continuación.

- **Estructura y carcasa,** Si bien la mayoría de las torres están construidas para soportar instrumentación adicional (motores, ventiladores y otros componentes) en el recinto, en algunos diseños más pequeños, como algunas unidades de fibra de vidrio, el recinto debe tener esencialmente el mismo marco.

- **Relleno,** Si bien la mayoría de las torres usan acolchado (hecho de plástico o madera) para facilitar la transferencia de calor, maximizando el contacto directo entre el agua y el aire. A su vez, existen dos tipos de rellenos:

- *Rellenos tipo salpicadura:* El agua gotea continuamente sobre una capa continua de tiras horizontales, rompiéndose en pequeñas gotas a medida que humedecen la superficie del relleno. Los rellenos de plástico tipo salpicadura transfieren el calor mejor que los rellenos de madera.

- *relleno fílmico:* consiste en una superficie plástica delgada y hermética (PVC) sobre la cual se dispersa agua para formar una película en contacto con el aire. Estas superficies pueden ser planas, onduladas en forma de panal (panal de abeja) u otros patrones dispuestos y dispuestos, este tipo de relleno es más eficiente debido a la uniformidad de la transferencia de calor y también reduce el volumen.

- **Cuenca o depósito de agua enfriada,** Está ubicado en o cerca del fondo de la torre y recibe agua fría que fluye por el relleno. Suele tener un sumidero o punto bajo para la conexión de descarga de agua fría.

- **Eliminadores de rocío,** estos apresan las gotas de agua atrapadas en la corriente de aire que, de lo contrario, se perderían en la atmósfera.

- **Persianas y boquillas,** Las persianas son conductos laterales, cuyo propósito en el diseño del dispositivo es equilibrar el flujo de aire dentro del relleno. Muchos diseños aguas arriba no requieren persianas. Las boquillas distribuyen aire para humedecer el relleno, una distribución uniforme del agua en el relleno es esencial para lograr una humectación adecuada de toda la superficie del relleno, las boquillas se

pueden unir y distribuir en patrones cuadrados o circulares, o formar parte de un conjunto giratorio como un pilar en algunas torres de sección transversal circular

• **Ventiladores**, estos pueden ser de tipo axial y centrífugo y se han utilizado en torres de refrigeración para introducir el caudal de aire necesario para su funcionamiento. Los ventiladores no automáticos con aspas ajustables se pueden utilizar en una amplia gama de potencia (kW), ya que el ventilador se puede ajustar para enviar el flujo de aire deseado con el menor consumo de energía o potencia operativa, los ventiladores automáticos pueden cambiar las condiciones de carga.

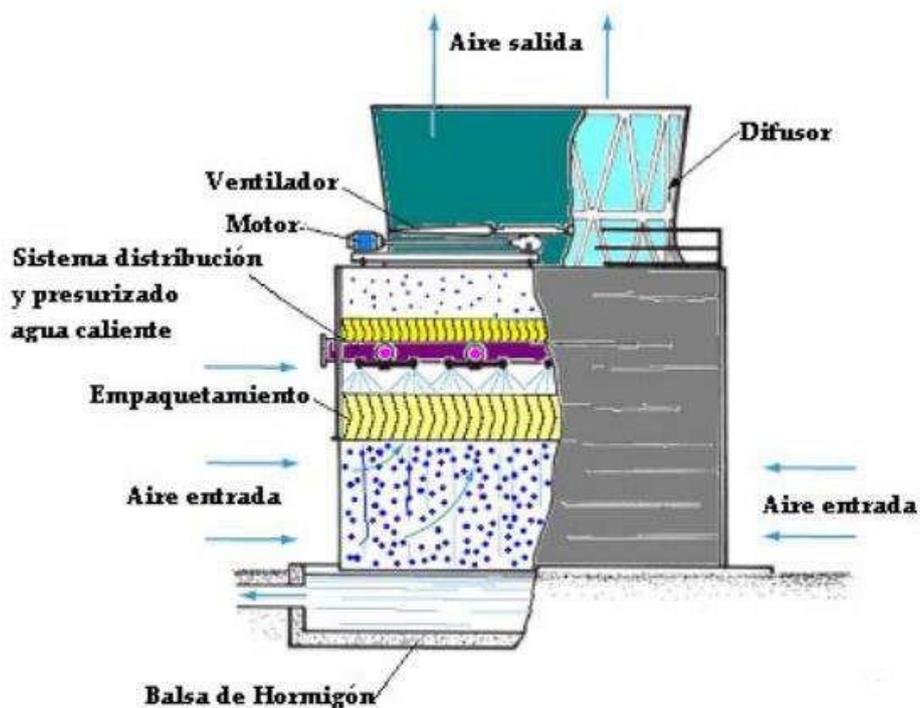


Figura 5. Componentes de Torre de tiro inducido en contraflujo.

Fuente: Blanco (2011). Ingeniería Térmica y Fluidos, p12.

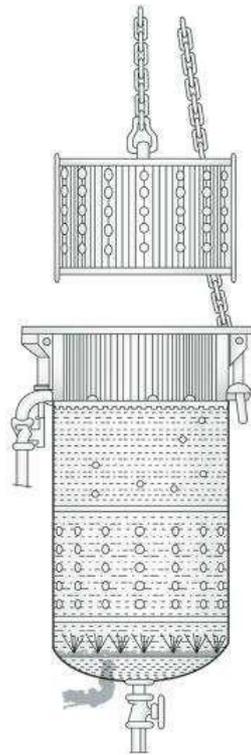
### 1.2.2 Tratamiento térmico: Autoclaves

Los sistemas de tratamiento térmico de alimentos se pueden clasificar de varias maneras. Uno de ellos es el siguiente: 1. Sistemas discontinuos, también llamados sistemas por lotes, en los que se carga el sistema con contenedores, se cierra si es necesario y luego se inicia un ciclo de tratamiento. 2. Sistemas continuos, donde los

contenedores entran y salen del sistema de forma continua. Cada uno de estos sistemas tiene ventajas y desventajas sobre el otro.

### Sistemas discontinuos

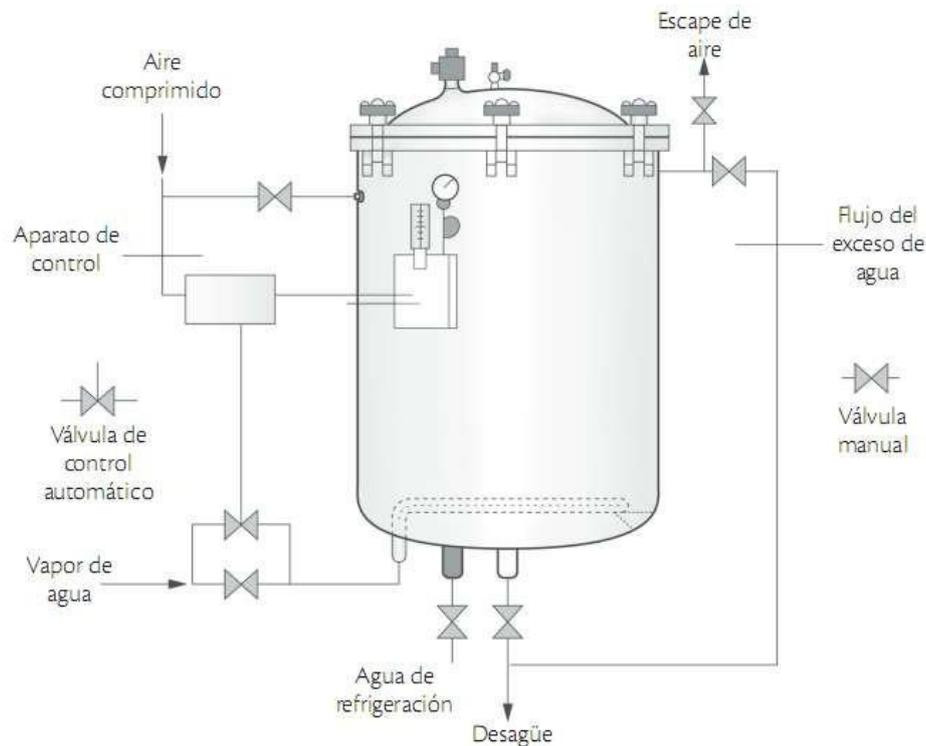
**Baño de agua caliente.** Los sistemas discontinuos para el tratamiento térmico de productos ácidos envasados consisten únicamente en tanques o depósitos abiertos, donde el agua se calienta directa o indirectamente con vapor a temperatura de proceso, donde el producto se introduce en una canasta accionada por un sistema de poleas o similar, como se muestra en la figura. Figura 6 Mostrar. El agua debe circular continuamente para evitar zonas calientes y frías. Una vez que se completa el calentamiento, puede enfriar los recipientes en el mismo tanque si reemplaza el agua fría con agua caliente o si usa una cubeta de enfriamiento separada. (Bosquez et al., 1999)



*Figura 6.* Tanque abierto con baño de agua caliente.

Fuente: Dixie Canner Equipment, Catálogo de equipo.

**Autoclaves.** Las autoclaves calentadas con vapor a presión son el sistema más utilizado en el procesamiento térmico de productos enlatados de baja acidez. En ellas, el producto se coloca en canastillas inmediatamente después del cierre de las latas y se introduce en el cuerpo de la autoclave, fabricado en metal resistente a la presión y equipado de entradas para vapor, agua y aire y salidas para venteo y drenaje del equipo. Hay diseños de retorta por lotes verticales u horizontales, uno de los cuales se muestra en la Figura 7.



*Figura 7.* Autoclave discontinua vertical.

Fuente: Brennan et al. (1980)

Según (Bosquez et. al, 1999), la esterilización en autoclave es, en esencia, una operación cíclica que comprende las siguientes fases:

- Purga de la autoclave.
- Elevación de la temperatura.
- Mantenimiento de la temperatura.
- Enfriamiento.

La purga consiste en eliminar el aire presente inicialmente en la autoclave mediante la introducción de vapor a través de ésta, manteniendo abiertas las válvulas de purgado y drenado. Esta operación es importante porque si la esterilización se realiza en presencia de aire, el coeficiente de transferencia de calor se reduce mucho, y debido a la diferencia de peso, el aire tiende a acumularse en el fondo de la autoclave, provocando falta de homogeneidad en el esterilizador. producto tratamiento térmico.

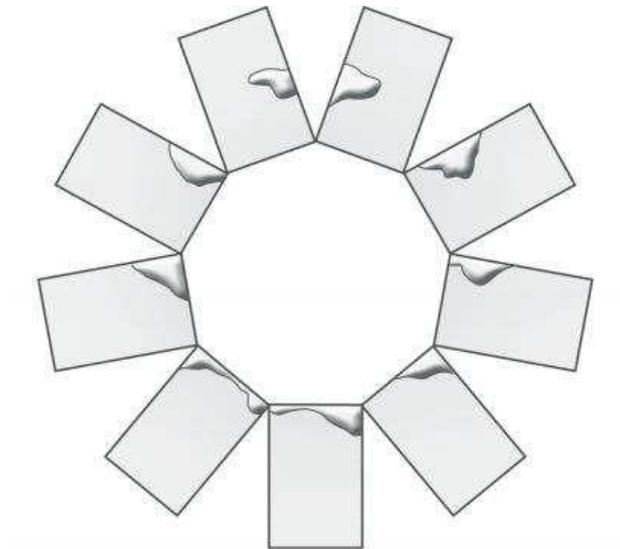
La elevación de la temperatura se efectúa con la autoclave purgada y totalmente cerrada y es controlada mediante una válvula reguladora de presión de vapor.

Cuando la autoclave alcanza la temperatura de esterilización, el mantenimiento estable de ésta se controla por medio de una válvula de modulación o termostato. Aunque el tiempo real de esterilización comienza cuando la autoclave alcanza la temperatura de funcionamiento (generalmente a 121 °C), los envases reciben calor durante la elevación de la temperatura, por lo que este tiempo debe considerarse en la estimación de la letalidad del tratamiento.

El enfriamiento constituye una fase crítica en el proceso tanto para evitar el sobre procesamiento del producto como para la integridad de los envases, debido al riesgo de apertura e hinchamiento de los recipientes a causa del desequilibrio de la presión, ya que en el interior de los envases hubo una disminución de la temperatura y, por ende, de su presión interna es mucho más lento que en el exterior, de modo que este desequilibrio se traduce en una sobrepresión en el interior del envase. Para evitar este tipo de problemas, durante el enfriamiento se introduce en la autoclave una contrapresión de aire comprimido que contrarresta el déficit externo de presión.

***Autoclaves rotatorias.*** Algunas autoclaves discontinuas por vapor están diseñadas de modo que provocan en las latas un movimiento rotatorio sobre su eje horizontal, con el fin de agitar el producto y con ello acelerar la transferencia interna de calor. Estos equipos se denominan rotatorios; el movimiento del envase se ilustra en la figura 8. Las autoclaves rotatorias son especialmente efectivas cuando el producto por calentar es un fluido viscoso (como sopas o cremas concentradas, salsa o puré de tomate, etc.) ya que en estos casos el calentamiento se efectúa básicamente por convección y el movimiento acelera de manera considerable esta transmisión y

evita el sobrecalentamiento del producto en contacto con las paredes del envase. Por otro lado, en productos sólidos donde la transferencia de calor es principalmente por conducción, la agitación del producto no tiene un efecto significativo.



*Figura 8.* Movimiento de los envases en una autoclave rotatoria.

Fuente: Hersom y Hulland, 1974.

**Sistema Lagarde.** Otro tipo de autoclaves como el sistema Lagarde, tiene un ventilador en el interior para forzar el vapor hacia la autoclave y aumentar la velocidad a la que se transfiere el calor al recipiente. Asimismo, esta autoclave resulta conveniente para el proceso a sobrepresión con vapor/aire requerido para la esterilización de productos envasados en vidrio, en plástico o en envases flexibles, en los que la ventilación tiene la doble función de distribuir el medio calefactor y evitar la formación de bolsas de aire a causa del mayor peso de aire en relación con el vapor, con objeto de lograr un calentamiento uniforme.

**Autoclave Sterifow.** Es un autoclave estático, discontinuo y horizontal, establecido en el uso de agua de lluvia fuerte y agua sobrecalentada en lugar de vapor, para la esterilización de cestas o productos envasados en cestas. En esta planta, como se muestra en la figura 7.15, el agua se calienta a través de un intercambiador de calor de placas con alimentación de vapor.

La misma agua se utiliza para refrigeración porque el intercambiador de calor se alimenta con agua fría. Los chorros de agua de alta energía utilizados permiten una determinada tasa de transferencia de calor y, por tanto, una cierta uniformidad de tratamiento térmico. Debido al uso de agua como medio de calentamiento, el dispositivo es adecuado tanto para latas de metal como para recipientes de vidrio, plástico o flexibles. El steriflow también existe en una versión rotativa, en la que la cesta que contiene los contenedores gira en un tambor giratorio alrededor del eje horizontal de la cámara de esterilización.

La velocidad de rotación es ajustable de 5 a 25 rpm.

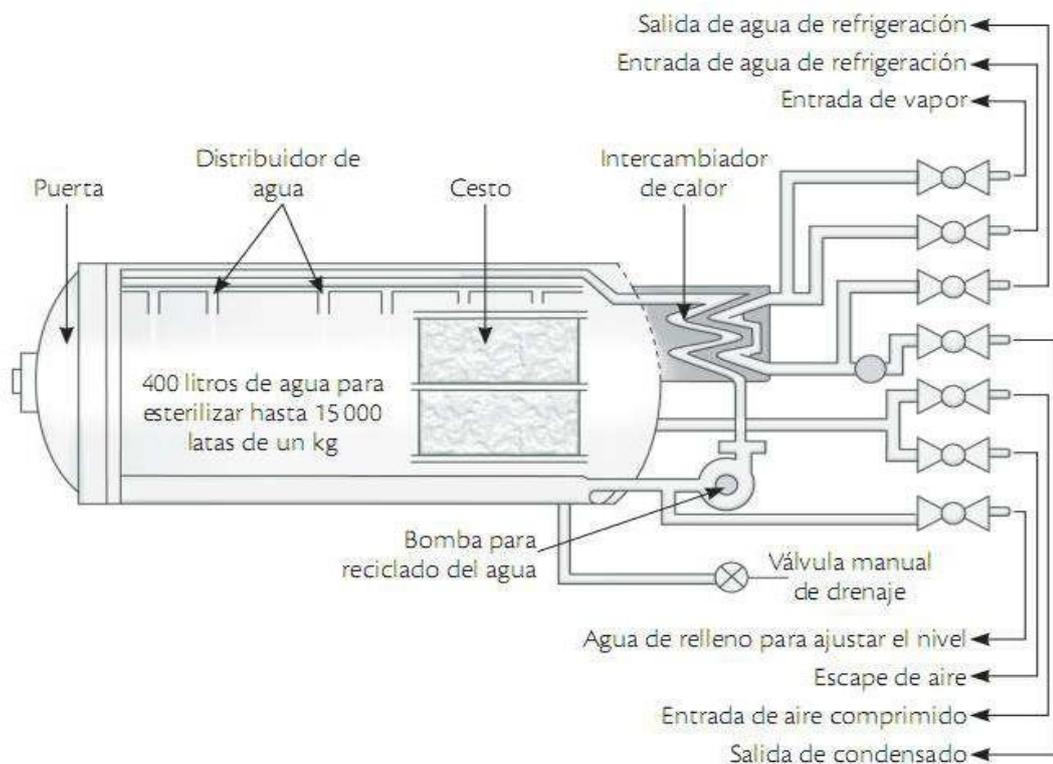


Figura 9. Autoclave Steriflow.

Fuente: Rees y Bettinson, 1994.

### Autoclave Industrial.

Se ha señalado que el recipiente encargado de la esterilización de los elementos mediante vapor se denomina autoclave. El recipiente debe ser de metal y debe poder soportar las altas temperaturas y presiones a las que se ve sometida el agua de su

interior. La función de esta máquina cambia con la industria, una autoclave industrial también es un recipiente a presión calentado con una puerta de apertura rápida que utiliza alta presión para procesar y limpiar materiales. En pocas palabras, utiliza calor y alta presión para curar productos o desinfectar máquinas, dispositivos e instrumentos. (QuimiNet, 2018)

En comparación de los autoclaves de esterilización, que normalmente hacen circular vapor, los autoclaves industriales pueden hacer circular otros gases para facilitar reacciones químicas específicas. Estos dispositivos se utilizan a menudo para materiales de “curado” (aplicación de calor para fomentar la formación de moléculas de polímero de cadena larga). Por ejemplo:

En la industria de los neumáticos, permite el vulcanizado de neumáticos donde este se calienta, endurecer y se endurecer con azufre en una autoclave.

En la industria de la madera, le añade fortaleza y permite que sea resistente al ataque de los insectos y a los elementos del clima.

El nailon, un tipo de plástico, puede fabricarse "cociendo" una solución salina concentrada en un autoclave para facilitar la llamada reacción de policondensación.

El polietileno (polietileno, otro plástico) se puede fabricar polimerizando etileno haciendo circular aire o peróxidos orgánicos a través de un autoclave.

Los materiales aeronáuticos hechos de materiales compuestos también se curan a menudo en grandes autoclaves industriales. (*Autoclave industrial*, 2018)

#### Funcionamiento del autoclave industrial

El funcionamiento de un autoclave industrial puede ocurrir en varias formas aunque el fin es el mismo. Después de sellar la cámara, todo el aire se elimina usando una bomba de vacío simple (en un diseño llamado autoclave industrial de vacío previo) o bombeando vapor para expulsar el aire (un diseño alternativo llamado autoclave industrial). Gravedad) y una tercera operación, pero las dos funciones mencionadas anteriormente se combinan a través de un autoclave industrial calentado por combustible, del que hablaremos más adelante.

Luego, el vapor se bombea a través de la cámara a una presión superior a la presión atmosférica normal, alcanzando una temperatura de aproximadamente 121-140°C (250-284°F)

Obteniendo una temperatura deseada, se enciende un termostato y se inicia un temporizador. El bombeo de vapor tarda un mínimo de unos 3 minutos y un máximo de unos 15-20 minutos (temperaturas más altas significan tiempos más cortos), por lo general el tiempo suficiente para matar a la mayoría de los microorganismos.

La etapa correcta de esterilización depende de una serie de factores, incluido el nivel potencial de contaminación de los elementos que se esterilizan en autoclave (los elementos sucios y contaminados tardarán más en esterilizarse porque contienen más microorganismos) y la forma en que se carga el esterilizador (la esterilización en autoclave sería más rápido y más eficiente si el vapor pudiera circular más libremente). (*Autoclave industrial*, 2018)

En la industria, Ferlo es una de las muchas marcas de empresas dedicadas a la fabricación de autoclaves, de su catálogo de productos podemos mencionar dos modelos: uno rotativo y otro estático, cada uno muestra sus características técnicas de operación y materiales, así como los productos ideales a ser usados por el equipo. Según Ferlo, hay dos formas diferentes (modo estático, modo rotativo), por lo que tenemos dos tipos diferentes de autoclaves:

b) Autoclave horizontal Rotativa.

a) Autoclave horizontal Estática.

*El autoclave horizontal rotativo (Autoclave Rotativo, s. f.)* Su sistema de esterilización se basa en la rotación interna de la jaula en la que se almacena el producto. Por pulverización a través del sistema de transferencia de frío y calor. El sistema puede funcionar en rotación como una forma de péndulo. El sistema de rotación Ferlo funciona por la rotación integral del spray con la jaula. Se evita así el

centrifugado y se garantiza una perfecta homogeneización de la temperatura del producto. El sistema es adecuado para productos que necesitan ser movidos.

Opciones de diámetro: Ø950, Ø1600. Fabricado en acero inoxidable AISI-304L de 10 mm de espesor. Característica

- Temperatura máxima de funcionamiento: 160 °C.
- Presión máxima de trabajo: 5 bar.
- Capacidad mínima de 3 cestas máximo 6 cestas
- Maquinaria fabricada según normativa CE..
- Fabricado íntegramente en acero inoxidable AISI 304L.
- Aislada con lana mineral y recubierta de acero inoxidable.
- Calentamiento y enfriamiento por medio de intercambiador de placas de acero inoxidable.
- Distribuidor de agua interior mediante pulverizadores en los laterales, en la parte superior y parte inferior.
- Autoclave equipada con cuadro de automatismos de procesos Allen Bradley.

Para el procesamiento de alimentos como: sopa, pasta, lácteos, café, chocolate, alimentos para bebés, crema, bebidas, salsas. Mostrado en la figura 10.



*Figura 10. Autoclave Rotativo*

Fuente: Ferlo, Catálogo de equipo.

*El autoclave horizontal estático (Autoclave estática, s.f.), Su funcionamiento se basa en la transferencia de calor y frío en modo cascada o spray mediante la circulación de agua a través de intercambiadores de placas. Este autoclave es adecuado para productos que no necesitan moverse durante el proceso de esterilización.*

Opciones de diámetro: Ø800, Ø950, Ø1380, Ø1520. Fabricado en acero inoxidable AISI-304L desde de 6 a 10 mm de espesor. Característica

- Temperatura máxima de funcionamiento: 150 °C.
- Presión máxima de trabajo: 5 bar.
- Capacidad mínima de 2 cestas máximo 12 cestas
- Maquinaria fabricada según normativa CE..
- El producto es calentado y enfriado por una cascada o sprays de agua en la recirculación.
- El agua es calentada indirectamente por una bomba a través de un intercambiador de placas de acero inoxidable.

- El calentamiento y enfriamiento del agua para todos los ciclos del proceso se realiza en intercambiadores de calor de placas por vapor o agua fría.

- Autoclave equipada con cuadro de automatismo de procesos Allen Bradley.

Alimentos de Trabajo: Vegetales enlatados, pastas, alimentos precocinados, jugos y bebidas, productos cárnicos, salsas de carne, frutas enlatadas, pescado.



*Figura 10. Autoclave Estático*

Fuente: Ferlo, Catálogo de equipo.

### **1.2.3 Balances de energía en autoclaves industriales**

El calor total necesario para el autoclave se expresa de la siguiente manera:

$$Q_{TA} = Q_{al} + Q_{carr} + Q_{env} + Q_{env} + Q_{mprima} + Q_{liq.gobierno} + Q_{conv.radia} \dots \dots (1)$$

Donde:

$Q_{TA}$  : calor necesario para el autoclave

$Q_{al}$  : calor necesario para el equipo

$Q_{carr}$ : calor para los carros

$Q_{env}$  : calor para los envases

$Q_{mprima}$  : calor para la materia prima

$Q_{liq.gobierno}$  : calor para el liquido de gobierno

$Q_{conv.radia}$  : calor perdido por conveccion y radiacion

**Calor necesario para el equipo  $Q_{al}$ :**

$$Q_{al} = M_A C_{eA} (T_2 - T_1) \quad (2)$$

Donde:

$M_A$ : peso del autoclave

$C_{eA}$  : calor especifico del autoclave

$T_2$  : Temperatura del esterilizado

$T_1$  : Temperatura del ambiente

**Calor requerido por los carros  $Q_{carr}$ :**

$$Q_{carr} = M_{carr} C_{ecarr} (T_2 - T_1) \quad (3)$$

Donde:

$M_{carr}$ : peso de los carros para autoclave

$C_{ecarr}$  : calor especifico del material de los carros

$T_2$  : Temperatura del esterilizado

$T_1$  : Temperatura del ambiente

**Calor requerido por los envases  $Q_{env}$ :**

$$Q_{env} = M_{env} C_{eenv} (T_2 - T_1) \quad (4)$$

Donde:

$M_{env}$ : peso de los envases contenidos en el autoclave

$C_{eenv}$  : calor especifico del envase

$T_2$  : Temperatura del esterilizado

$T_1$  : Temperatura del ambiente

**Calor requerido por la materia prima  $Q_{mp}$  :**

$$Q_{mp} = M_{mp} C_{emp} (T_2 - T_1) \quad (5)$$

Donde:

$M_{mp}$ : peso del total de la materia prima

$C_{emp}$  : calor especifico de la materia prima

$T_2$  : Temperatura del esterilizado

$T_1$  : Temperatura del ambiente

**Calor requerido por el líquido de gobierno  $Q_{lg}$  :**

$$Q_{a/s} = M_{a/s} C_{e a/s} (T_2 - T_1) \quad (6)$$

$Q_{a/s}$  : calor para el agua y sal

$M_{a/s}$ : peso del agua y sal

$C_{e a/s}$  : calor especifico del agua

$T_2$  : Temperatura del esterilizado

$T_1$  : Temperatura del ambiente

**Calor perdido por convección y radiación  $Q_{cr}$ :**

$$Q_{cr} = hA(T_w - T_a) \quad (7)$$

Donde:

$h$  : coeficiente global de transferencia de calor

$A_t$ : area exterior del autoclave

$T_w$  : Temperatura exterior del equipo

$T_a$  : Temperatura del ambiente

Parámetros para selección de Bombas

*Diámetro de tubería*

El diámetro de la tubería de instalación debe seleccionarse con el objetivo de limitar al máximo la pérdida de presión causada por la fricción entre el flujo de agua y la pared interior de la tubería.

Sin embargo, considerando que a mayor diámetro, mayor costo de la tubería, se debe llegar a una solución de compromiso para rentabilizar económicamente la

instalación. Por otro lado, los diámetros de las bridas en los orificios de succión y descarga de la bomba, determinan solo el mínimo diámetro que debe tener la tubería de instalación, para poder utilizar accesorios (cono de difusión) que conecta la manija a la bomba, el diámetro de la bomba lo produce finalmente la tubería, como se muestra en la figura 11.

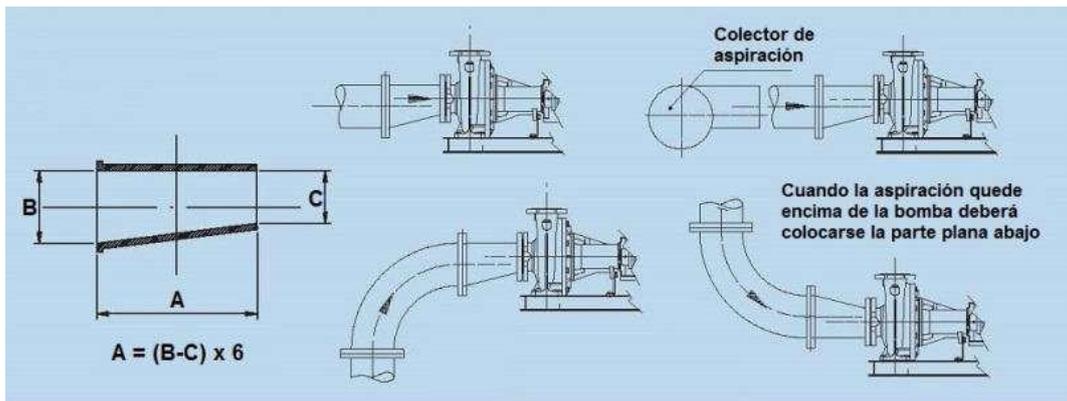


Figura 11. Colocación del Cono Difusor

Fuente: (Ingemecanica, s. f.)

La especificación que relaciona la velocidad del fluido ( $V$ ) con el costo o caudal ( $Q$ ) es la siguiente:

$$Q = V \cdot A \dots \dots \dots (8)$$

donde:

$Q$  es el caudal volumétrico o caudal de agua que da vueltas por la tubería;

$V$  es la velocidad del agua en la tubería;

$A$  es el área de la sección transversal interior de la tubería ( $\pi \cdot D^2/4$ ), donde  $D$  es el diámetro interior de la tubería.

Nota: para el diámetro interno de la tubería se usarán los catálogos normalizados, dependiendo de la instalación requerida.

*Altura manométrica o Altura Dinámica Total*

La manera de hallar el cálculo de una instalación de bombeo de agua comienza calculando la altura manométrica (H) que se obtiene por el fluido y que debe proporcionar la bomba, representando la resistencia que debe vencer el fluido desde el punto de succión hasta la salida. También se conoce como la presión que debe entregar la bomba.

Fuentes (2003), indica que la forma más común de elevar el agua es a través de unas bombas hidráulicas impulsadas por un motor eléctrico o de explosión. En el caso más general las bombas hidráulicas actúan en dos etapas: Succión y Propulsión.

Además (Fuentes, 2003) se considera las alturas de elevación, que son las siguientes:

*Altura geométrica de aspiración* ( $H_a$ ): Es la distancia vertical entre el eje de la bomba y el nivel inferior del agua.

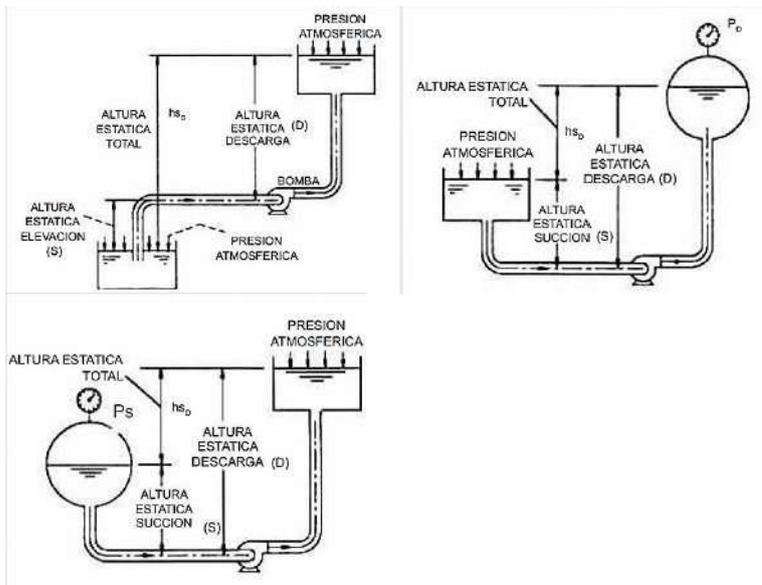
*Altura geométrica de impulsión* ( $H_i$ ): Es la distancia vertical desde la superficie superior del agua (la superficie del agua en el tanque de descarga o el punto de descarga libre de la tubería de impulsión) al eje de la bomba.

*Altura geométrica de elevación*: Es la distancia vertical entre los dos pisos por encima y por debajo de la superficie del agua.

*Altura manométrica de aspiración*: Es igual a la altura geométrica de aspiración más las pérdidas de carga en la tubería de aspiración.

*Altura manométrica de impulsión*: Es igual a la altura geométrica de descarga más las pérdidas de carga en la tubería de descarga.

*Altura manométrica total o altura total de elevación* (H): Este lo tiene que proporcionar la bomba y no tiene nada que ver con el peso específico del líquido, por lo que solo se puede expresar en metros de columna de agua (mca).



(a)

(b)

(c)

Figura 12. (a) Succión de un reservorio abierto a la presión atmosférica. Recipiente localizado por debajo de nivel de eje de la bomba. (b) Succión de un reservorio abierto a la presión atmosférica. Recipiente localizado a mayor altura que el eje de la bomba. (c) Succión de un reservorio cerrado con presión (Ps) diferente a la atmosférica. Recipiente a mayor altura que eje de la bomba.

La altura manométrica o altura dinámica total (H o ADT) se forma de la suma de:

En instalaciones con elevación de succión:

$$H \text{ o } ADT = H_l + H_A \dots \dots \dots (9)$$

En instalaciones con altura de succión:

$$H \text{ o } ADT = H_l - H_A \dots \dots \dots (10)$$

Resumiendo:

$$H = H_l \pm H_A \dots \dots \dots (11)$$

$$H_A = S + \Sigma P_s + P_s \dots \dots \dots (12)$$

$$H_l = D + \Sigma P_d + P_d \dots \dots \dots (13)$$

$$\Sigma P_A = h_{Fs} + h_{fs} \dots \dots \dots (14)$$

$$\Sigma P_l = h_{Fd} + h_{fd} \dots \dots \dots (15)$$

Dónde:

$H$  = Altura dinámica Total (m)

$H_I$  = Altura de descarga (m)

$H_A$  = Altura de succión (m)

$D$  = Altura estática de descarga (m)

$S$  = Altura estática de succión (m)

$\Sigma P_I$  = Sumatoria de pérdidas en la descarga (m)

$\Sigma P_A$  = Sumatoria de pérdidas en la succión (m)

$h_{FA,I}$  = Pérdidas primarias (por fricción en la línea) en succión o descarga (m)

$h_{fA,I}$  = Pérdidas secundarias (por accesorios en la línea) en succión o descarga (m)

### *Pérdidas de carga en Tuberías*

La forma más común de transportar un fluido de un punto a otro es empujarlo a través de un sistema de tuberías. Los tubos de sección circular son los más comunes porque esta forma no solo proporciona una mayor resistencia estructural, sino que también tiene una sección transversal mayor que cualquier otra forma para el mismo perímetro exterior. Esto es causado por la fricción cuando el fluido se mueve a través de tuberías, válvulas y otros accesorios. Esto es un poco complicado, pero analizaremos el proceso de cálculo de la caída de presión de una instalación de tuberías de distribución de forma simplificada:

**Pérdidas Primarias:** estas pérdidas son por la fricción interna de las paredes y el fluido interno de la tubería, presentados dos metodologías para determinar este parámetro.

**Darcy - Weisbach:**

Este método es de uso general ya que es aplicable para cualquier condición de flujo (laminar, crítico, o turbulento) y tipo de fluido, cambiando en cada caso el valor de  $f$ .

$$h_c = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (16)$$

$$h_c = 0.0826 \cdot f \cdot \frac{Q^2}{D^5} \cdot L \dots \dots \dots (17)$$

Donde  $f$  es el coeficiente de fricción o coeficiente de Darcy, este factor de fricción es adimensional y para determinar su valor existen diferentes opciones. Es importante el estado en que se encuentre el fluido. Una vez que se haya determinado el régimen en el que se encuentra, aplique una de las siguientes expresiones:

$$f = \frac{64}{Re} \dots \dots \dots \textit{Laminar}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{2.7}{3.7(D/\epsilon)} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \dots \dots \dots \textit{Turbulento}$$

Además, se determinará mediante el uso del diagrama de Moody el cual depende del número de Reynolds ( $Re$ ) y de la rugosidad relativa de la tubería ( $e/D$ ):

$$f = g(Re, e/D)$$

Estos valores pueden observarse en los anexos C y D

Para determinar el número de Reynolds utilizamos la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \dots \dots \dots (18)$$

Las propiedades físicas del fluido como densidad ( $\rho$ ) y la viscosidad dinámica ( $\mu$ ) son evaluadas a la temperatura del agua del sistema de bombeo.

Para determinar la rugosidad relativa  $\varepsilon/D$ , requerimos definir el material del tipo de tubería a instalar, en función de ello podemos usar las rugosidades absolutas.

Una vez que se determinan los valores adimensionales como el número de Reynolds y la rugosidad relativa, leemos el valor del coeficiente de fricción  $f$  usando un diagrama de Moody.

Pérdidas secundarias o por singularidad: Son debidas a los accesorios que se encuentran en la línea de succión o impulsión de la instalación. Podemos determinar por dos métodos:

a) Método del coeficiente de perdidas  $K$ , donde la ecuación fundamental es:

$$h_s = K \cdot \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (19)$$

$h_s$  = Pérdida de carga, m.

$K$  = Coeficiente de pérdida de carga singular adimensional.

$V$  = Velocidad media en la sección, m/s.

$g$  = Aceleración de la gravedad, m/s<sup>2</sup>.

Siguiente, se muestran algunos ejemplos de caída de presión local  $K$  en varios accesorios, estos ejemplos se proporcionan a continuación solo como una guía y no deben considerarse válidos para ningún accesorio disponible en el mercado. Los datos presentados no se obtienen en base a la teoría, sino como resultado de pruebas realizadas en accesorios específicos. El diseño del accesorio, así como la calidad de los materiales utilizados en su producción, el acabado de sus superficies interiores y el deterioro durante el uso pueden afectar la caída de presión del accesorio

El flujo ( $Q$ ) o la velocidad ( $v$ ) también afecta a estas pérdidas según la fórmula de Darcy-Weisbach.

b) Método de la Longitud equivalente, donde la ecuación fundamental es:

$$h_s = f \cdot \frac{L_{eq}}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (20)$$

$h_s$  = Pérdida de carga, m.

$L_{eq}$  = Longitud equivalente de pérdida de carga del accesorio, m.

Si sumamos las ecuaciones 16 y 20 (perdidas primarias y secundarias) obtenemos la siguiente ecuación para el lado de la tubería de aspiración e impulsión:

$$h_A = f \left( \frac{L_A + \sum L_{equiv.A}}{D_A} \right) \frac{V_A^2}{2g} + \sum K \frac{V_A^2}{2g} \dots \dots \dots (21)$$

$$h_I = f_I \left( \frac{L_I + \sum L_{equiv.I}}{D_I} \right) \frac{V_I^2}{2g} + \sum K_I \frac{V_I^2}{2g} \dots \dots \dots (22)$$

En esta ecuación se combinan las pérdidas secundarias por los métodos de singularidad y longitud equivalente, debido a que en las tablas no siempre se encuentran todos los tipos de accesorios por ello se tiene que recurrir a diversas bibliografías disponibles.

*Determinación del tipo y modelo de bomba*

Una vez determinada la altura manométrica y definido el caudal que debe entregar la bomba, cada fabricante de bombas dispone de una tabla de selección rápida que permite elegir el modelo con mejor rendimiento de toda la gama de bombas que ofrece. En la figura 13 se muestra el Abaco para escoger la bomba (diagrama de cascarn), de la marca HIDROSTAL, para el cual se requiere la altura útil en metros y el caudal en litros por segundo, es importante indicar que todas las marcas de bombas presentan en sus catálogos diagramas de este tipo el cual se sigue la misma metodología de selección. Su uso es no es complicado, por ejemplo, si la altura fuese  $H = 55\text{m}$  y un caudal  $Q = 15\text{ L/s}$ , entonces la bomba sería el modelo 50 – 160 (24), tal como detallado en la figura 13.

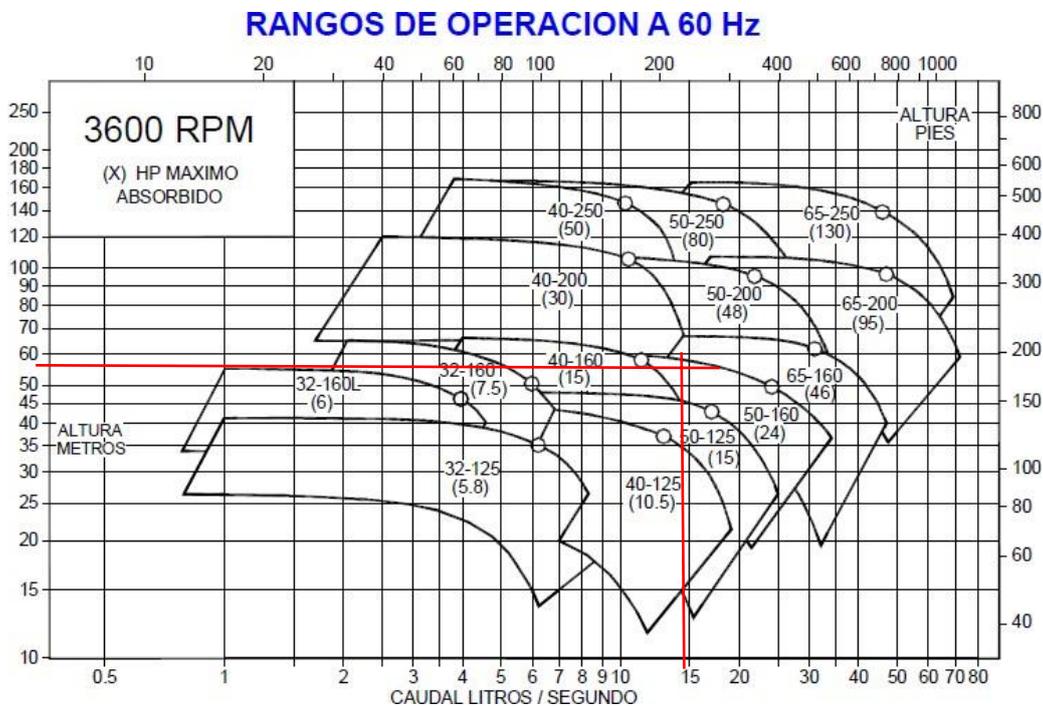


Figura 13. Abaco de selección de Bombas

Fuente: Catalogo de Hidrostral

A medida que disminuye la altura de impulsión  $H$ , aumenta el caudal  $Q$  proporcionado por la bomba centrífuga a velocidad constante ( $n = \text{constante}$ ). Es decir, tiene la capacidad de autorregularse. Asimismo, la potencia absorbida  $P$  de la bomba, el rendimiento  $\eta$  y el NPSH requerido dependen del caudal. El desarrollo conjunto de estos parámetros se refleja en la curva característica de la bomba, que se muestra en la Figura 14, que caracteriza el comportamiento de una bomba centrífuga. (Avendaño, 2009).

En general, salvo que se indique lo contrario, las curvas características se refieren a la densidad  $\rho$  y la viscosidad cinemática  $\nu$  del agua. La curva característica de una bomba centrífuga representa una relación caudal-altura única, y el punto de funcionamiento del dispositivo en el que se encuentra debe "ajustarse" a lo que determina la Curva.

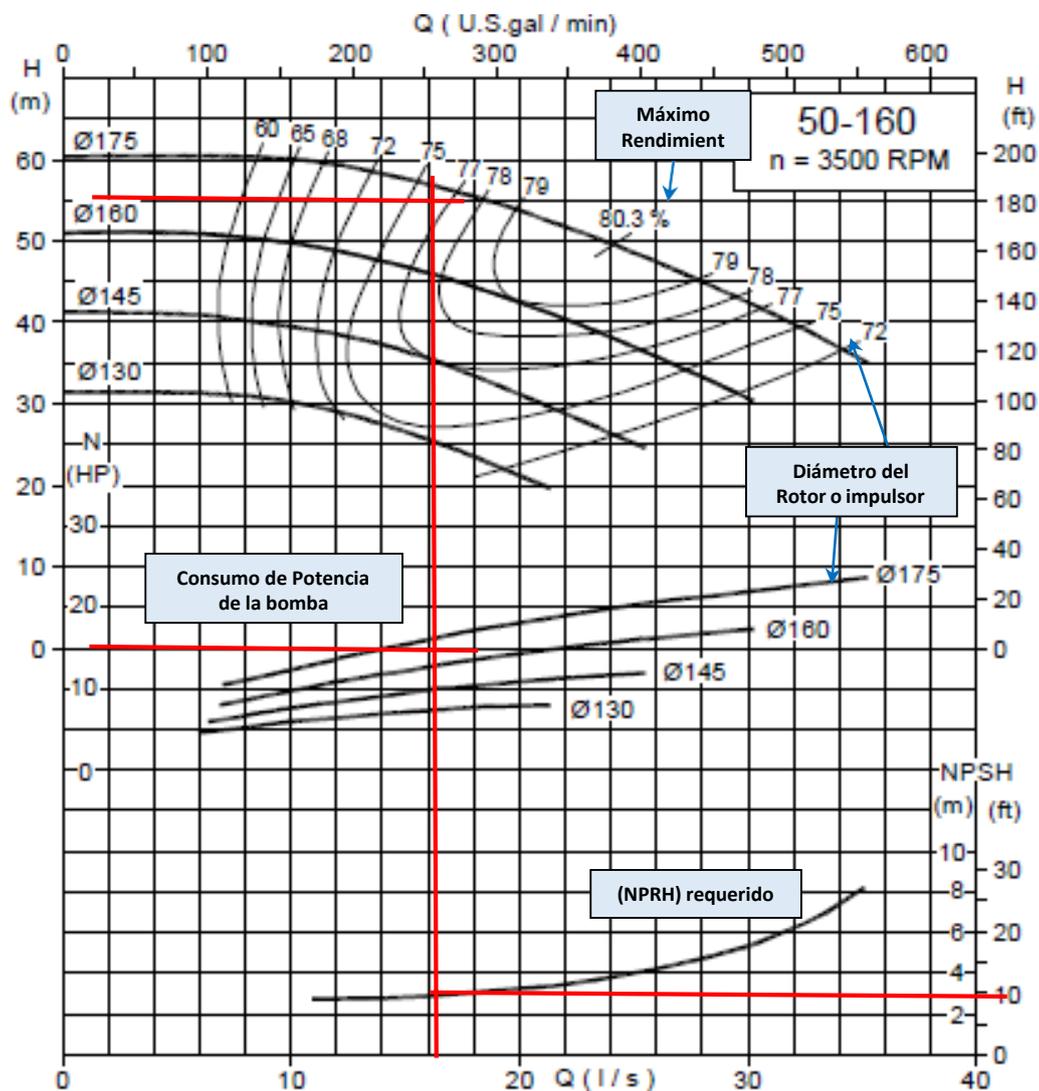


Figura 14. Curva Característica de una Bomba Centrífuga

Fuente: Catalogo de Hidrostat

Cada diámetro de impulsor tiene una curva característica que se puede instalar en el modelo de bomba correspondiente. Los modelos de bomba 50-160 a 3600 rpm tienen una curva de funcionamiento que se muestra en la Figura 14 para cuatro diámetros de impulsor posibles: 175, 160, 145 y 130 mm.

## Correlaciones para la evaluación de indicadores económicos

### A. Valor Actual Neto.

Es una medida financiera del flujo futuro de ingresos y gastos de un proyecto para determinar si será rentable después de descontar la inversión inicial.

Este es un programa que permite calcular el valor presente de una cierta cantidad de flujos de efectivo futuros (ingresos menos gastos). El método también descuenta una tasa de interés específica o tasas que son las mismas para todo el período considerado. El VAN se coloca durante una etapa de vida de un proyecto, asumiendo que todos los flujos de efectivo tienen el mismo valor calculado en cada ciclo de vida, se puede calcular matemáticamente de la siguiente manera:

$$VAN = -I + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+i)^t} \dots \dots \dots (23)$$

Donde:

I = Evaluación Económica del Proyecto en el año "0" de inversión

i = Es la tasa de interés anual del proyecto.

n = Tiempo de vida a evaluar, generalmente en años.

Vt = Representa los flujos de caja para cada periodo de análisis., y donde:

$$V_t = A - CO \dots \dots \dots (24)$$

Donde:

A = Renta, ahorro o utilidad obtenida durante cada periodo de tiempo analizado. (Para cada año)

CO = Gasto anual de costos de operación y mantenimiento

Si VAN > 0: El proyecto es rentable.

Si VAN = 0: El proyecto es postergado.

Si VAN < 0: El proyecto no es rentable.

Al momento de elegir entre dos proyectos, escogeremos la de mayor VAN. Entonces, al encontrar el VAN del proyecto de inversión para saber si el proyecto es factible. El VAN también nos permite seleccionar que proyecto es el más rentable entre varias opciones de inversión.

B. Tasa Interna de Retorno.

Se fija como la tasa de interés con la cual el valor presente (VAN) de una inversión es cero (VAN = 0). Recuerde, el VAN se calcula en función de los flujos de efectivo anuales, convirtiendo todos los montos futuros a valor presente (valor presente) y aplicando una tasa de descuento.

Este enfoque asume que si el resultado de la TIR es igual o mayor que la tasa de interés (la tasa de descuento) demandada por el inversionista, entre varias opciones, la que proporciona la tasa interna de retorno es la más conveniente. más alto. Si la TIR es igual a la tasa de descuento, al inversor no le importa si realiza la inversión o no. Si la TIR está por debajo de la tasa de descuento, el proyecto debe rechazarse.

Matemáticamente se evalúa a través de la siguiente ecuación:

$$VAN = 0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} \dots \dots \dots (25)$$

C. Pay Back

Asimismo, conocido como el período de recuperación, medido en meses o años, una técnica utilizada por las empresas para tener una idea aproximada de cuánto tiempo se tardará en recuperar el gasto inicial invertido en el proceso de producción, es decir, los elementos que normalmente circulan completan un giro o ciclo El número de días, meses o años de desarrollo.

$$P = \frac{I}{A - O} \dots \dots \dots (26)$$

Donde P: Periodo de recuperación de inversión

vfvvvvvvvvvvvvv  
cv

Entonces después de una revisión de las teorías relacionadas al problema, nos planteamos la siguiente hipótesis de investigación: Mediante la implementación de una torre de enfriamiento permitirá mejorar la disipación de calor en un 5% en el proceso de enfriamiento de los productos en las autoclaves de la empresa Virú S.A.

Determinación y Operacionalidad de Variables.

Variable Dependiente: *Torre de Enfriamiento*

Definición conceptual: Una torre de enfriamiento es una torre que enfría agua caliente por contacto directo con una corriente de aire frío. El enfriamiento ocurre en parte a través de la transferencia de calor sensible del agua al aire y en parte a través de la evaporación del agua en la corriente de aire. El calor latente del agua es grande y una pequeña cantidad de evaporación puede tener un gran efecto de enfriamiento. **(Paucar et al., 1999)**.

Definición operacional: Una torre de enfriamiento es un dispositivo que se utiliza para enfriar grandes volúmenes de agua que provendrán del área del autoclave donde se extrae el calor del agua por evaporación o conducción. El proceso es económico y eficiente debido a la introducción de un sistema de ventilación (vía ventilación) y contracorriente (el agua baja, el aire sube), por lo que el enfriamiento a través de las paredes no se toca a sí mismo en comparación con otros equipos de enfriamiento como los intercambiadores de calor. **(Lázaro, 2019)**

Variable Independiente: *Disipación de Calor en un autoclave*

Definición conceptual: El desvanecimiento de calor se denomina fase de enfriamiento: una vez finalizada la fase de esterilización, los envases deben llevarse a temperaturas que permitan manipularlos y envasarlos lo más rápido posible. En general, el producto se somete a continuos baños de agua fría que llevan el producto a

temperaturas inferiores a 40°C para evitar posibles re contaminaciones en su interior. **(Gavidia et al., 2010)**

Definición operacional: La disipación de calor en la etapa de enfriamiento por presión es una etapa importante, esta es la fase de enfriamiento final en la cual se le inyecta agua fría a la autoclave de proceso por un determinado tiempo, en el cual debe alcanzar la temperatura de apertura del equipo. En esa temperatura la autoclave esta lista para descargar los productos de conserva. **(Lázaro, 2019)**

Definido entonces las variables de estudio nos planteamos los objetivos de nuestro trabajo de investigación. Con referencia al objetivo general planteamos: Realizar la implementación de una torre de enfriamiento que mejore la disipación de calor en la zona de autoclaves de la empresa Virú S.A.

Además, respecto a los objetivos específicos proponemos:

Realizar una evaluación actual de la carga térmica para la fase de enfriamiento de las autoclaves de la empresa Virú S.A.

Elaborar el cálculo de una torre de enfriamiento de tiro inducido acontracorriente para mejorar la disipación de calor en el área de autoclaves de Virú S.A.

Realizar el cálculo y selección de equipos auxiliares como: bombas centrífugas y tuberías que mejore la disipación de calor en la zona de autoclaves de la empresa Virú S.A.

Realizar una evaluación de los indicadores económicos que mejore la disipación de calor en la zona de autoclaves de la empresa Virú S.A.

## II. Metodología

### II.1. Tipo y diseño de investigación.

**Tipo:** El actual trabajo de investigación se enmarca dentro del carácter experimental de la categoría pre-experimental, debido a que durante el relevamiento se cambiarán las variables de investigación, lo cual será demostrado por los estudios previos y posteriores al desarrollo. (Hernández, Sampieri y Baptista, 2017). Se desarrolló con un solo grupo control (G: equipo autoclave) en el que se fijó un estímulo (la implementación de una torre de enfriamiento) para determinar su efecto sobre la variable dependiente (disipación de calor), aplicando un pre-test y un post-test. prueba para aplicar el estímulo. (Bernal, 2006, p. 159).

**Diseño:** Esta es una investigación no experimental de corte transversal porque el objetivo del análisis es una realidad observable, medible y las variables no se modifican. Es una investigación de diseño descriptivo-transversal, que constituye una investigación cuantitativa dirigida a identificar las diferentes causas de un fenómeno, comportamiento o proceso.

El esquema que representa a este diseño es:

**G1: O1 X O2**

Dónde:

G1: Grupo experimental (Autoclaves).

O1: Disipación de Calor antes de la implementación de la Torre de Enfriamiento.

X: Implementación de la Torre de Enfriamiento.

O2: Disipación de Calor después de la implementación de la Torre de Enfriamiento.

## **II.2. Población y muestra**

La población y muestra están formados por 10 autoclaves estacionarios de tipo horizontal, el número de autoclaves funcionando en cada planta es de la siguiente forma:

Planta 1: 04 autoclaves en simultáneo

- 03 Autoclaves de 4 canastillas.
- 01 Autoclave de 5 canastillas.

Planta 2: 04 Autoclaves en simultáneo

- 03 Autoclaves de 4 canastillas.
- 01 Autoclave de 6 canastillas.

Planta 6: 02 Autoclaves en simultáneo

- 02 Autoclaves de 4 canastillas.

## **II.3. Técnicas e instrumentos de medición**

### **II.3.1. Técnicas**

**Análisis de Datos Históricos:** Es un análisis de los informes de funcionamiento de la autoclave que permitirá obtener los datos históricos, medir los indicadores inicialmente y mostrar las características de las variables en estudio.

**Observación No Experimental:** Procedimiento que se ejecutó antes de un experimento sobre una variable, es decir, para observar un problema presentado en la realidad con el fin de comprender el estado actual del sistema.

**Revisión Documental:** Análisis de expedientes de tesis anteriores que permitirán la recopilación de datos sobre variables de interés.

**Análisis Documental:** Es el análisis y verificación del manual de operación de los objetos de estudio que permite obtener los conceptos básicos y detalles del funcionamiento y funcionamiento de los equipos que se están implementando.

Observación Experimental: Este es un análisis prospectivo que realiza las actividades de diseño y realización de un estudio paramétrico en condiciones de relativo control por parte del investigador, es decir, se realiza después de manipular una variable o variables.

### II.3.2. Instrumentos de medición

Reporte de Producción u Operación: El formato en el que se registra la información que ayuda a medir el indicador de la variable dependiente.

Matriz de Análisis de Criticidad: Un formato que define el propósito del análisis, en el que se establecen criterios de evaluación y métodos de evaluación para priorizar componentes clave del tema de investigación.

Registro de Datos: Formato para registrar información sobre componentes clave del equipo y parámetros de funcionamiento de los objetos de investigación.

### II.3.3. Procesamiento y análisis de información

Se procesarán los registros obtenidos (base de datos) estos resultados reportados en campo serán sometidos a una evaluación que permitirán determinar las comparaciones pertinentes de la investigación (Hernández y Mendoza, 2018).

*Tabla 1.*

Método de análisis de datos

Objetivos específicos	Técnica	Instrumento	Resultados
Realizar una evaluación actual de la carga térmica para la fase de enfriamiento de las autoclaves de la empresa Virú S.A.	Análisis de datos	de Formatos de control de proceso y formato de características de equipos.	Se determinará la carga térmica de los equipos dentro del proceso productivo.
Realizar el cálculo térmico de la torre de enfriamiento de tiro inducido a contraflujo	Análisis de datos	de Formato de hojas de Excel	Se determinará el calor disipado por la

que mejore la disipación de calor en la zona de autoclaves de la empresa Virú S.A.		Diagrama de barras y circular.	torre de enfriamiento mediante un análisis térmico.
Realizar el cálculo y selección de equipos auxiliares como: bombas centrífugas y tuberías que mejore la disipación de calor en la zona de autoclaves de la empresa Virú S.A.	Análisis documental	Manual de operación y catálogos de fabricantes para diversos equipos.	Se determinará los equipos auxiliares adecuados para el funcionamiento de la torre de enfriamiento.
Realizar una evaluación de los indicadores económicos que mejore la disipación de calor en la zona de autoclaves de la empresa Virú S.A.	Análisis de datos	Formato de VAN, TIR, Pay Back	Se determinará los indicadores económicos a partir de los flujos de fondos proyectados obteniendo de esta manera los indicadores, VAN, TIR, A. Pay Back

---

*Nota:* Elaboración Propia, 2021

### III. RESULTADOS

#### *3.1 Evaluación actual de la carga térmica de la fase de enfriamiento de las autoclaves de la empresa Virú S.A.*

Para la determinación del calor suministrado o absorbido por los equipos de enfriamiento se ha utilizado la ecuación general del calor sensible del fluido de trabajo o material:

$$Q = mc_p\Delta T$$

Donde; m es la masa de la sustancia,  $c_p$  es el calor específico del fluido de trabajo o material y  $\Delta T$  el cambio de temperatura.

Las condiciones de funcionamiento de las autoclaves en el proceso de enfriamiento de los productos es la siguiente:

- La temperatura inicial y final del producto dentro de la autoclave es de 120°C y 31°C respectivamente.
- El tiempo de la fase de enfriamiento en cada Batch debe ser de aproximadamente 20 minutos.
- Para esta evaluación se utilizará el formato de alcachofa en frasco, en su presentación de 15 oz.

El número de autoclaves funcionando en cada planta será de la siguiente forma:

Planta 1: 04 autoclaves en simultaneo

- 03 autoclaves de 4 canastillas.
- 01 autoclave de 5 canastillas.

Planta 2: 04 Autoclaves en simultaneo

- 03 autoclaves de 4 canastillas.
- 01 autoclave de 6 canastillas.

Planta 6: 02 Autoclaves en simultaneo

- 02 autoclaves de 4 canastillas.

### Especificaciones generales

- Peso de autoclave de 4 canastillas: 2000 kg
- Peso de autoclave de 5 canastillas: 2500 kg
- Peso de una canastilla: 85 kg
- Número de envases/canastilla: 1760 unidades
- Peso de envase: 0.155 kg
- Peso del producto neto: 0.209 kg/envase
- Calor específico del Acero AISI 304L: 0.114 Kcal/kg °C
- Calor específico del vidrio: 0.2 Kcal/kg °C
- Temperatura inicial: 120 °C
- Temperatura final: 31 °C

**Planta 1:** 3 autoclaves de 4 canastillas

1 autoclave de 5 canastillas

Calor  $Q_{A1}$  en la autoclave:

3 autoclaves de 4 canastillas:

$$Q_{3A} = 3mc_{\rho}\Delta T = 3 * 2000 * 0.114 * (120 - 31) = 60876 \text{ kcal} \quad (*)$$

1 autoclave de 5 canastillas:

$$Q_{1A} = mc_{\rho}\Delta T = 2500 * 0.114 * (120 - 31) = 25365 \text{ kcal}$$

$$\text{Total: } Q_{A1} = Q_{3A} + Q_{1A} = 60876 + 25365 = 86241 \text{ kcal}$$

Calor  $Q_{C1}$  en las canastillas:

3 autoclaves de 4 canastillas:

$$Q_{4C} = 4mc_{\rho}\Delta T = 4 * 85 * 0.114 * (120 - 31) = 3450 \text{ kcal} \quad (**)$$

1 autoclaves de 5 canastillas:

$$Q_{5C} = 5mc_p\Delta T = 5 * 85 * 0.114 * (120 - 31) = 4312 \text{ kcal}$$

Total:  $Q_{C1} = Q_{4C} + Q_{5C} = 3450 + 4312 = 7762 \text{ kcal}$

Calor  $Q_{V1}$  en el vidrio:

3 autoclaves de 4 canastillas:

$$Q_{V1,4C} = mc_p \Delta T = 4 \text{ canastillas} * 1760 \frac{\text{envase}}{\text{canastilla}} * 0.155 \frac{\text{kg}}{\text{envase}} * 0.2 * (120 - 31) = 19423 \text{ kcal} \quad (***)$$

1 autoclaves de 5 canastillas:

$$Q_{V1,5C} = mc_p\Delta T = 5 \text{ canastillas} * 1760 \frac{\text{envase}}{\text{canastilla}} * 0.155 \frac{\text{kg}}{\text{envase}} * 0.2 * (120 - 31) = 24279 \text{ kcal}$$

Total:

$$Q_{V1} = 3Q_{V1,4C} + Q_{V1,5C} = 3 * 19423 + 24279 = 82548 \text{ kcal}$$

Calor  $Q_{AL1}$  en el producto (alcachofa):

3 autoclaves de 4 canastillas:

$$Q_{AL1,4C} = mc_p \Delta T = 4 \text{ canastillas} * 1760 \frac{\text{envase}}{\text{canastilla}} * 0.209 \frac{\text{kg}}{\text{envase}} * 0.946 * (120 - 31) = 123880 \text{ kcal} \quad (***)$$

1 autoclaves de 5 canastillas:

$$Q_{AL1,5C} = mc_p\Delta T = 5 \text{ canastillas} * 1760 \frac{\text{envase}}{\text{canastilla}} * 0.209 \frac{\text{kg}}{\text{envase}} * 0.946 * (120 - 31) = 154850 \text{ kcal}$$

Total:

$$Q_{AL1} = Q_{AL1,4C} + Q_{AL1,5C} = 3 * 123880 + 154850 = 526490 \text{ kcal}$$

Calor total  $Q_1$  requerido en la Planta 1:

$$Q_1 = Q_{A1} + Q_{C1} + Q_{V1} + Q_{AL1} = 86241 + 7762 + 82548 + 526490 \\ = 703041 \text{ kcal}$$

Flujo de calor total requerido en la Planta 1:

$$Q_1 = \frac{Q_1}{t} = \frac{703041 \text{ Kcal}}{20 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}} = 2109123 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

**Planta 2:** 3 autoclaves de 4 canastillas

1 autoclave de 6 canastillas

Calor  $Q_{A2}$  en la autoclave:

3 autoclaves de 4 canastillas, ver (\*):  $Q_{3A} = 60876 \text{ kcal}$

1 autoclave de 6 canastillas:

$$Q_{1A} = mc_p \Delta T = 3000 * 0.114 * (120 - 31) = 30438 \text{ kcal}$$

Total:  $Q_{A2} = Q_{3A} + Q_{1A} = 60876 + 30438 = 91314 \text{ kcal}$

Calor  $Q_{C2}$  en las canastillas:

3 autoclaves de 4 canastillas, ver (\*\*):  $Q_{4C} = 3450 \text{ kcal}$

1 autoclaves de 6 canastillas:

$$Q_{6C} = 6mc_p \Delta T = 6 * 85 * 0.114 * (120 - 31) = 5174 \text{ kcal}$$

Total:  $Q_{C2} = Q_{4C} + Q_{6C} = 3450 + 5174 = 8624 \text{ kcal}$

Calor  $Q_{V2}$  en el vidrio:

3 autoclaves de 4 canastillas, ver (\*\*\*) :  $Q_{V2,4C} = 19423 \text{ kcal}$

1 autoclaves de 6 canastillas:

$$Q_{V2,6C} = mc_p \Delta T \\ = 6 \text{ canastillas} * 1760 \frac{\text{envase}}{\text{canastilla}} * 0.155 \frac{\text{kg}}{\text{envase}} * 0.2 \\ * (120 - 31) = 29135 \text{ kcal}$$

Total:

$$Q_{V2} = 3Q_{V2,4C} + Q_{V2,6C} = 3 * 19423 + 29135 = 87404 \text{ kcal}$$

Calor  $Q_{AL2}$  en el producto (alcachofa):

3 autoclaves de 4 canastillas, ver (\*\*\*\*):  $Q_{AL2,4C} = 123880 \text{ kcal}$

1 autoclaves de 5 canastillas:

$$\begin{aligned} Q_{AL2,6C} &= mc_p \Delta T \\ &= 6 \text{ canastillas} * 1760 \frac{\text{envase}}{\text{canastilla}} * 0.209 \frac{\text{kg}}{\text{envase}} * 0.946 \\ &\quad * (120 - 31) = 185820 \text{ kcal} \end{aligned}$$

Total:

$$Q_{AL2} = Q_{AL2,4C} + Q_{AL2,6C} = 3 * 123880 + 185820 = 557460 \text{ kcal}$$

Calor total  $Q_2$  requerido en la Planta 2:

Total:

$$\begin{aligned} Q_2 &= Q_{A2} + Q_{C2} + Q_{V2} + Q_{AL2} = 91314 + 8624 + 87404 + 557460 \\ &= 744802 \text{ kcal} \end{aligned}$$

Flujo de calor total requerido en la Planta 2:

$$Q^2 = \frac{Q_2}{t} = \frac{744802 \text{ Kcal}}{20 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}} = 2234406 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

**Planta 6:** 2 autoclaves de 4 canastillas

Calor  $Q_{A6}$  en la autoclave:

2 autoclaves de 4 canastillas:

$$Q_{A6} = 2mc_p \Delta T = 2 * 2000 * 0.114 * (120 - 31) = 40584 \text{ kcal}$$

Calor  $Q_{C6}$  en las canastillas:

2 autoclaves de 4 canastillas, ver (\*\*):  $Q_{4C} = 3450 \text{ kcal}$

Total:  $Q_{C6} = 2Q_{4C} = 2 * 3450 = 6900 \text{ kcal}$

Calor  $Q_{V6}$  en el vidrio:

2 autoclaves de 4 canastillas, ver (\*\*\*):  $Q_{V6,4C} = 19423 \text{ kcal}$

Total:  $Q_{V6} = 2Q_{V6,4C} = 2 * 19423 = 38846 \text{ kcal}$

Calor  $Q_{AL6}$  en el producto (alcachofa):

2 autoclaves de 4 canastillas, ver (\*\*\*\*):  $Q_{AL6,4C} = 123880 \text{ kcal}$

Total:  $Q_{AL1} = 2Q_{AL1,4C} = 2 * 123880 = 247760 \text{ kcal}$

Calor total  $Q_6$  requerido en la Planta 6:

Total:

$$Q_6 = Q_{A6} + Q_{C6} + Q_{V6} + Q_{AL6} = 40584 + 6900 + 38846 + 247760 \\ = 334090 \text{ kcal}$$

Flujo de calor total requerido en la Planta 6:

$$Q_6 = \frac{Q_6}{t} = \frac{33490 \text{ Kcal}}{20 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}} = 1002270 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

### **Flujo de calor total disipado**

El calor total viene dado por la suma de:

$$Q_{TOTAL} = Q_1 + Q_2 + Q_6 = 2109123 + 2234406 + 1002270 = 5\,345\,799 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Considerando un factor de seguridad 1.1:

$$Q_{TOTAL} = 5\,880\,379 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Este es el calor que genera el proceso de autoclaveado y que debemos disipar en nuestro sistema de Torres de Enfriamiento a plena carga.

**3.2 Determinación del cálculo térmico de la torre de enfriamiento de tiro inducido a contraflujo que mejore la disipación de calor en la zona de autoclave de la empresa Virú S.A.**

**Determinación del caudal de agua requerido para enfriar la carga térmica de la zona de autoclaves:** el caudal de agua que absorberá el calor disipado por las autoclaves viene dado por:

$$\dot{m}_w = \frac{Q_{TOTAL}}{c_p \Delta T}$$

Donde:

Temperatura de entrada del agua caliente: 54 °C

Temperatura de salida del agua fría: 25 °C

Calor específico del agua igual a 1 kcal/kg °C y

Flujo de Calor  $Q_{TOTAL}$  como el flujo de calor total disipado.

Con estos datos se obtiene el caudal de agua necesaria para la planta de enfriamiento mediante torres.

$$\begin{aligned} \dot{m}_w &= \frac{5880379 \frac{kcal}{h}}{1 \frac{kcal}{kg^\circ C} * (54 - 25)^\circ C} = 202772 \frac{kg}{h} * \frac{1 L de agua}{1 kg de agua} * \frac{1 m^3 de agua}{1000 L de agua} \\ &= 203 \frac{m^3}{h} \end{aligned}$$

**Selección torre de enfriamiento:**

**Datos generales:**

- Temperatura de bulbo seco a la entrada:  $T = 28^\circ C$  (301 K)
- Temperatura de bulbo húmedo a la entrada:  $T_{bh} = 25^\circ C$  (298 K)
- Temperatura de agua caliente:  $T_{ent} = 40^\circ C$  (328 K)
- Temperatura de agua fría:  $T_{sal} = 28^\circ C$  (301 K)

- Humedad relativa a la salida del aire:  $\phi = 100 \%$
- Caudal de agua que ingresa:  $m_w = 295 \frac{m^3}{h}$
- Caudal de agua que se refrigera en las celdas:  $L = 278.41 \frac{m^3}{h} (77.34 \frac{kg}{s})$
- Flujo másico de aire que ingresa:  $G = 109.47 \frac{kg}{s}$
- Altura:  $h = 158 m$

### Presión del entorno

La presión viene dada por la siguiente ecuación:

$$p = p_e \left( - \frac{ghM}{T_o R} \right) = 101325 Pa * e^{\left( - \frac{9.8 \frac{m}{s^2} * 158 m * 0.02897 \frac{kg}{mol}}{288.16 K * 8.314 \frac{J}{mol K}} \right)} = 99445.5 Pa$$

$$\approx 100 kPa = 1 bar$$

### Relación de masa adimensional

Calculamos L/G con los datos generales:

$$\frac{L}{G} = \frac{77.34 kg/s \text{ de agua}}{109.47 kg/s \text{ de aire}}$$

$$= 0.71$$

### Cálculo de la presión de saturación a la temperatura de saturación adiabática

De acuerdo a Moran & Shapiro (2004), la temperatura de bulbo húmedo se puede usar en lugar de la temperatura de saturación para determinar la humedad específica de una mezcla de aire y vapor de agua dentro de los rangos normales de presión atmosférica y temperatura. Dado que las condiciones ambientales ( $p \approx 1$  bar) están dentro del rango apropiado, entonces  $T_{sa} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $298 \text{ K}$ ) y la presión de saturación se encuentra en la tabla A-2 (Moran & Shapiro, 2004) igual a  $p_g(T_{sa}) = 0.03169 \text{ bar}$  ( $3169 \text{ Pa}$ ).

### Humedad relativa

Determinamos la humedad relativa apóstrofo como:

$$\omega' = 0.622 \left( \frac{p_g}{1 - p_g} \right) = 0.622 \left( \frac{0.03169}{1 - 0.03169} \right) = 0.020356 \frac{\text{kg (vapor)}}{\text{kg (aire seco)}}$$

Con esto, calculamos la humedad especifica según la ecuación:

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{h_a(T_{sa}) - h_a(T) + \omega'[h_g(T_{sa}) - h_f(T_{sa})]}{h_g(T) - h_f(T_{sa})} \\ &= \frac{(298.18 - 301.19) + 0.020356(2442.3)}{\frac{2552.6 - 104.89}{kg \text{ (vapor)}}} \\ &= 0.0191 \frac{kg \text{ (vapor)}}{kg \text{ (aire seco)}}\end{aligned}$$

Donde h es la entalpia calculada a las temperaturas correspondientes. El subíndice “a” indica que se debe usar la tabla A-22 (Moran & Shapiro, 2004) referente a las propiedades del aire como gas ideal. El subíndice “g” y “f” indica el estado de vapor saturado y líquido saturado. Después de hacer esto, encontramos que la presión parcial del vapor de agua es:

$$p_v = \frac{\omega p}{\omega + 0.622} = \frac{(0.0191)(1)}{0.0191 + 0.622} = 0.0298 \text{ bar}$$

Determinamos la humedad relativa con  $p_g(T = 28^\circ C) = 0.03782 \text{ bar}$ , luego:

$$\phi = \frac{p_v}{p_g} = \frac{0.0298}{0.03782} = 0.788 \text{ (78.8\%)}$$

$p_g$  0.03782

A la salida del aire se considera una humedad relativa igual a 100%, así:

$$p_v = p_g$$

Esto significa que la presión del vapor de agua es igual a la presión de saturación del vapor a la temperatura de salida. Entonces se deduce que la temperatura de saturación adiabática (o temperatura de bulbo húmedo) es igual a la temperatura de bulbo seco.

#### Entalpía a la entrada del aire

La entalpía a la entrada del aire se encuentra con la humedad relativa igual a 78.8% y la temperatura de 28 °C en cualquier diagrama psicrométrico. Este es igual a 78 KJ/kg de aire seco

#### Entalpía a la salida de la mezcla aire seco - vapor de agua

Es necesario determinar la temperatura de la salida de aire. Para ello calcularemos la entalpía a la salida del aire, que es la entalpía total de la mezcla a la salida. La entalpía total de una mezcla, definida como la entalpía del aire de secado (calor sensible) y la entalpía del vapor de agua (calor latente), se define como:

$$h = h_a + \omega h_v = c_{p,air}T + \omega'(h_w + c_{p,w}T) + c_{p,ag}(L/G)\Delta T$$

Donde:

- Temperatura de bulbo húmedo,  $T, ^\circ C$
- Calor específico de vapor de aire:  $c_{p,air} = 1.005 \frac{kJ}{kg K}$
- Calor específico de vapor de agua:  $c_{p,w} = 1.88 \frac{kJ}{kg K}$
- Calor específico del agua saturada:  $c_{p,ag} = 4.18 \frac{kJ}{kg K}$
- Entalpía específica del vapor de agua:  $h_w = 2500 \frac{kJ}{kg}$
- Delta de temperatura de transferencia de calor,  $\Delta T, ^\circ C$

Sustituyendo:

$$h = 1.005T + \omega'(2500 + 1.88T) + 4.18 * (L/G) * \Delta T$$

$$h = 1.005 * 25 + (0.020356)(2500 + 1.88 * 25) + 4.18 * 0.71 * (40 - 28)$$

$$h = 112.6 \frac{kJ}{kg K}$$

Temperatura de salida del aire

Con la entalpia especifica encontramos la temperatura en un diagrama psicométrico, ver la figura de abajo, con la humedad relativa igual a 100 % y la entalpia especifica igual a 115.7 kJ/kg K. Se ha interpolado, para encontrar el valor como sigue:

Tabla 2.

Cálculo de la entalpia especifica por interpolación

Entalpía específica h (kJ/kg)	Temperatura bulbo seco Tbs (°C)
100	30
112.6	T
90	28

La temperatura del aire a la salida es:

$$T = 30 + \frac{(112.6 - 100)(28 - 30)}{(90 - 100)} = 32.52 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Con esta temperatura obtenemos la presión de saturación  $p_{sat} = 0.050746 \text{ bar}$  y con esto la humedad específica a la salida según la ecuación:

$$\omega = 0.622 \left( \frac{0.050746}{1 - 0.050746} \right) = 0.033251 \frac{\text{kg (vapor)}}{\text{kg (aire seco)}}$$

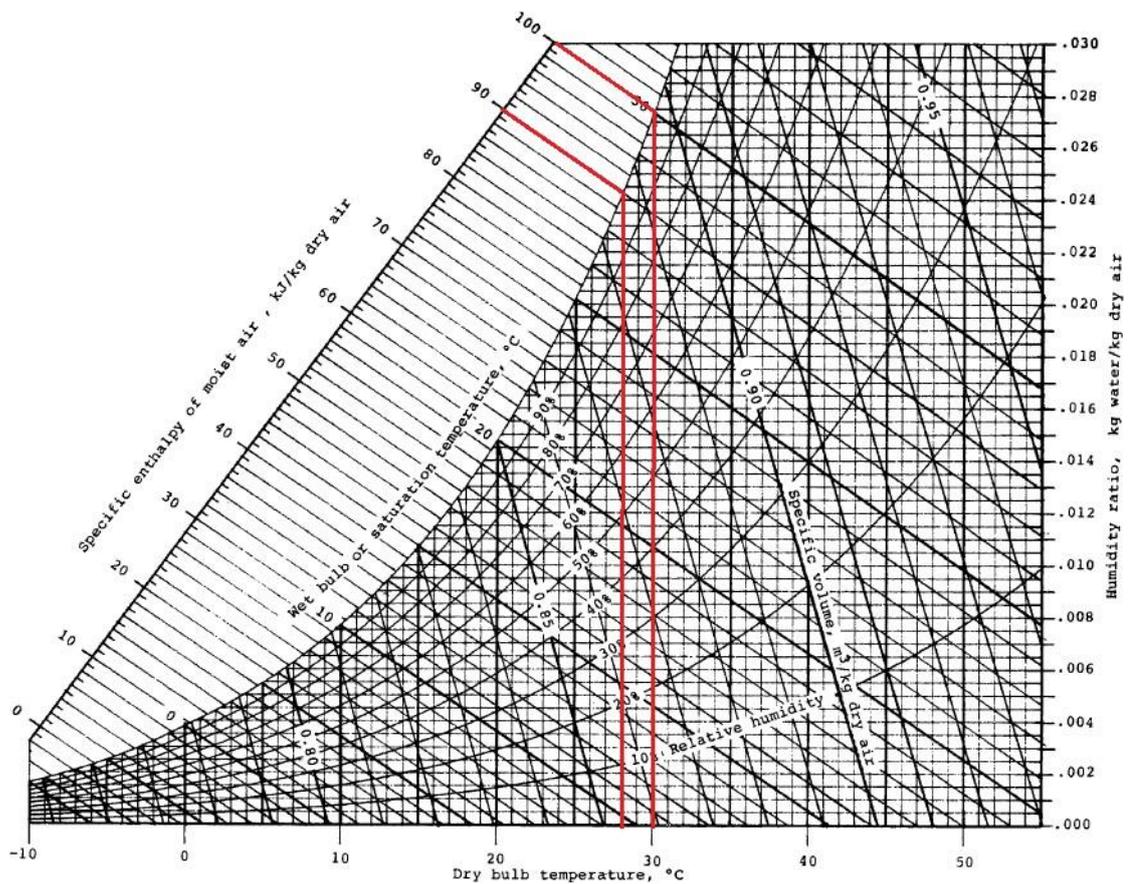


Figura 15. Carta psicrométrica de aire

Fuente: Moran y Shapiro (2004)

### **Balance de energía:**

El balance de energía del sistema nos ayudará a encontrar la carga de calor. De acuerdo a Soles Valdivia, Luis (2013), se tiene que:

$$LC_{p,agu}(T_1 - T_2) = G(H_1 - H_2) = Q$$

Donde:

- T1: Temperatura del agua de entrada
- T2: Temperatura del agua de salida
- H1: Entalpía de entrada de la mezcla aire-vapor de agua
- H2: Entalpía de salida de la mezcla aire-vapor de agua
- Q: Carga de calor

En la tabla 3 se muestra los valores encontrados para facilitar el cálculo:

Tabla 3.

Resumen de los parámetros termodinámicos requeridos para el calculo

Condición	Temperatura (°C)	Entalpía (kJ/kg)	Flujo másico (kg/s)
Estado 1: Entrada de agua caliente	$T_1 = 40^\circ C$	$h_1 = 167.57 \frac{kJ}{kg}$	$\dot{m}_1 = 77.34 \frac{kg}{s}$
Estado 2: Salida de agua fría	$T_2 = 28^\circ C$	$h_2 = 117.43 \frac{kJ}{kg}$	$\dot{m}_2 = 77.34 \frac{kg}{s}$
Estado 3: Entrada de aire húmedo	$T_3 = 28^\circ C$	$h_3 = 77 \frac{kJ}{kg}$	$\dot{m}_{a,3} = 109.47 \frac{kg}{s}$
Estado 4: Salida de aire húmedo	$T_4 = 32.52^\circ C$	$h_4 = 112.6 \frac{kJ}{kg}$	$\dot{m}_{a,4} = 109.47 \frac{kg}{s}$

Sustituyendo los valores conocidos se tiene que:

$$77.34 * 4.18 * (40 - 28) = 109.47(112.6 - 77) = Q$$

$$Q = 3879.4 \text{ kW}$$

$$Q = 3879.4 \frac{\text{kWh}}{\text{s}} \frac{1 \text{ kcal}}{4.18 \text{ kJ}} \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 3\,340\,765 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Por lo tanto, la carga de calor es 3879.4 kW. Para lograr disipar esta capacidad térmica generada por las autoclaves en planta hemos realizado las siguientes acciones:

1. Repotenciar las 02 Torres de Enfriamiento. - Para ello hemos hecho lo siguiente:

Mantenimiento completo a las Torres de Enfriamiento, interno y externo; estructuras y paneles.

Mantenimiento al relleno de transferencia de calor.

Cambio de forma de ubicación del relleno.

Aumento del caudal de aire de los ventiladores.

2. Aumentar el ingreso de aire a las torres de enfriamiento. Se aumentó el área libre de ingreso de aire, para así disminuir la resistencia del aire al ingreso de las Torres de Enfriamiento.

3. Funciona en agua de enfriamiento de doble circuito. - Con esto, no logramos un enfriamiento del agua en un solo paso, sino en dos pasos; una mejor transferencia de calor y por lo tanto una temperatura más baja.

4. Aumentar la capacidad de almacenamiento de las pozas de agua fría y de agua de recirculación. - Se construyó cuatro pozas de 50 m<sup>3</sup> cada una. Dos destinadas para el circuito de enfriamiento y dos para la recirculación del agua. Con esto logramos tener una mayor cantidad de agua fría en stand by.

5. Aumente el flujo de agua de enfriamiento a través del enfriador de la autoclave. - Aumento del flujo de agua a través del enfriador de 4,2 LPS a 10,4 LPS, de esta manera se puede mejorar la transferencia de calor en el intercambiador de calor.

6. Disminuir las pérdidas en el sistema. - Se aumentó el diámetro de la tubería de transporte de agua, luego de realizar los respectivos cálculos, hemos considerado trabajar con 8 pulg de diámetro en la tubería de impulsión y de descarga del sistema de enfriamiento, logrando una velocidad de 1.7 m/s dentro de la tubería, la misma que permite una baja resistencia del agua.

7. Uso de menos bombas para el Sistema de Enfriamiento. - Debido a la baja velocidad del agua en las tuberías y al uso de accesorios apropiados, hemos logrado bajar la fricción del agua, ocasionando que se trabaje con una sola bomba de impulsión en el sistema y a plena carga funcionan tan sólo 02 bombas en simultáneo.

En la siguiente figura XX se presenta el esquema en vista superior del sistema de enfriamiento. En anexo 1 y 2 se presentan el sistema de enfriamiento en vista isométrica.

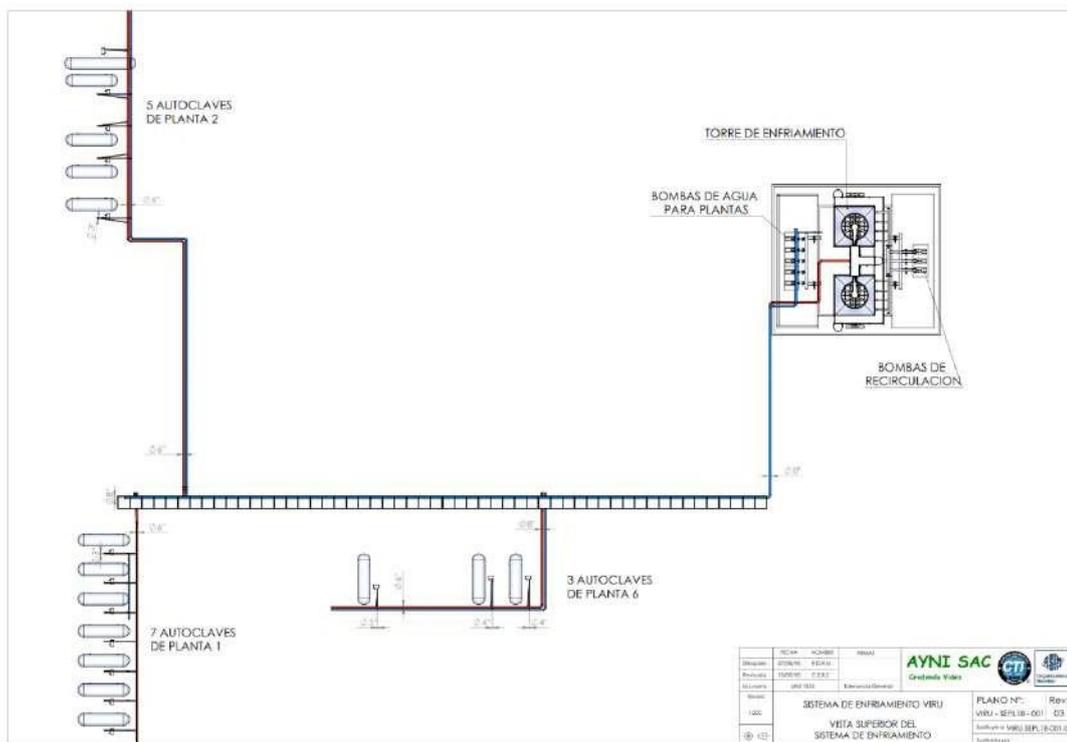


Figura 16. Plano en vista superior del sistema de enfriamiento

Fuente: Elaboración propia

**3.3. Cálculo y Selección de equipos auxiliares: bombas centrífugas y tuberías que mejore la disipación de calor en la zona de autoclave de la empresa Viru S.A.**

**Selección del sistema de bombeo:**

Circuito - Torre.

El caudal de diseño de la torre de enfriamiento es 220 m<sup>3</sup>/h. Dado que el circuito es doble, las bombas de recirculación van a tomar dos veces este caudal para volver a enviarlo a la torre. Por lo tanto, el caudal es:

$$Q = 400 \frac{m^3}{h} * \frac{1000 l}{1 m^3} * \frac{1 h}{3600 s} = 110 \frac{l}{s} = 2 \text{ bombas} * 55 \frac{l}{s}$$

Número de bombas = 2

Asimismo, se ha considerado una altura que represente todos los obstáculos que va a vencer el agua impulsada por la bomba igual a:

$$A.D.T = 10 m$$

Se ha seleccionado la bomba Hidrostral 125-250, n=160 rpm, y se ha ubicado con Q y H el diámetro del rotor, la potencia, rendimiento y el NPSH requerido como se muestra en la figura. Se tiene los siguientes resultados:

$$\phi = 260 mm$$

$$n = 60 \%$$

$$N = 15 HP$$

$$NPSH_{requerido} = 2 m$$

Calculamos la carga neta de aspiración positiva NPSH disponible para verificar que no se producirá cavitación. El NPSH disponible viene dado por:

$$NPSH_{disponible} = \left( \frac{p_0}{\rho g} + Z - Y \right) - \frac{p_v}{\rho g} m$$

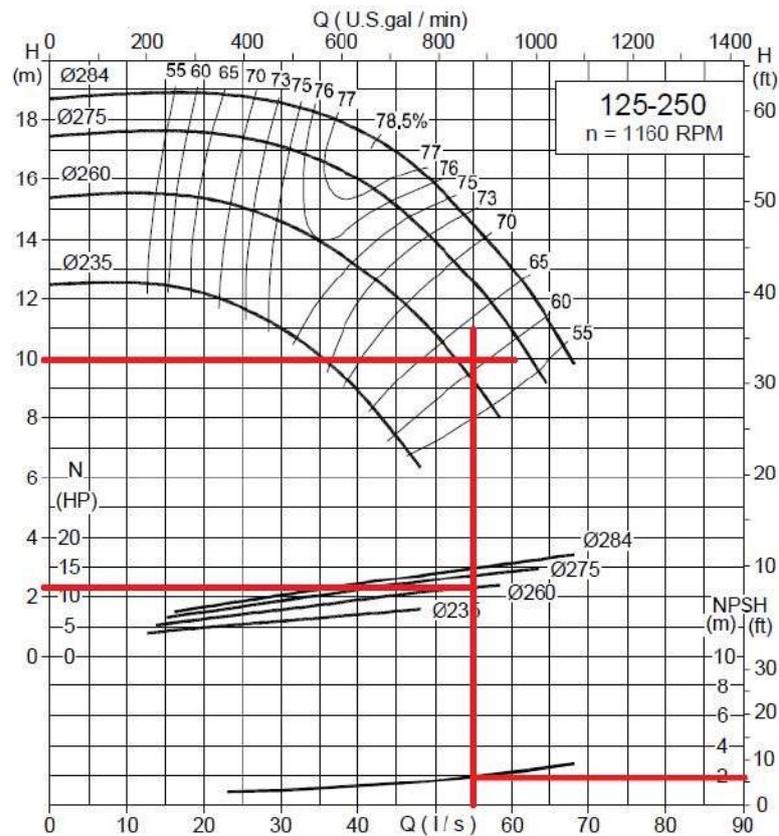


Figura 17. Curvas de operación y funcionamiento de bomba modelo 125-250

Fuente: Catalogo Hidrostat

Donde:

- Presión atmosférica, (ver cálculos de la torre de enfriamiento para  $h=158$  m):  
 $p_0 = 99445.5 \text{ Pa}$
- Presión de saturación a la temperatura del agua,  $T=28$  °C, obtenido en tablas de agua saturada,  $p_v = 0.03782 \text{ bar}$  (3782 Pa)
- Altura de trabajo:  $Z - Y = 10 \text{ m}$
- Densidad del agua,  $\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Sustituyendo los valores conocidos:

$$NPSH_{disponible} = \left( \frac{99445.5}{1000 * 9.8} + 10 \right) - \frac{3782}{1000 * 9.8} = 19.8 \text{ m}$$

Por lo tanto, comparando la carga neta de aspiración positiva disponible y requerida, se tiene que:

$$NPSH_{disponible} = 19.8 \text{ m} > NPSH_{requerido} = 2 \text{ m}$$

Se prueba que no se producirá cavitación en la instalación.

Circuito-planta.

Se realizará el mismo cálculo con las siguientes consideraciones:

$$Q = 200 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 56 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 3 \text{ bombas} * 19 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Número de bombas = 3

$$A.D.T = 72 \text{ m}$$

Con estas distinciones ha seleccionado la bomba Hidrostral 50-200, n=3540 rpm y se ha ubicado con Q y H el diámetro del rotor, la potencia, rendimiento y el NPSH necesario como se obtiene en la figura. Tiene los siguientes resultados:

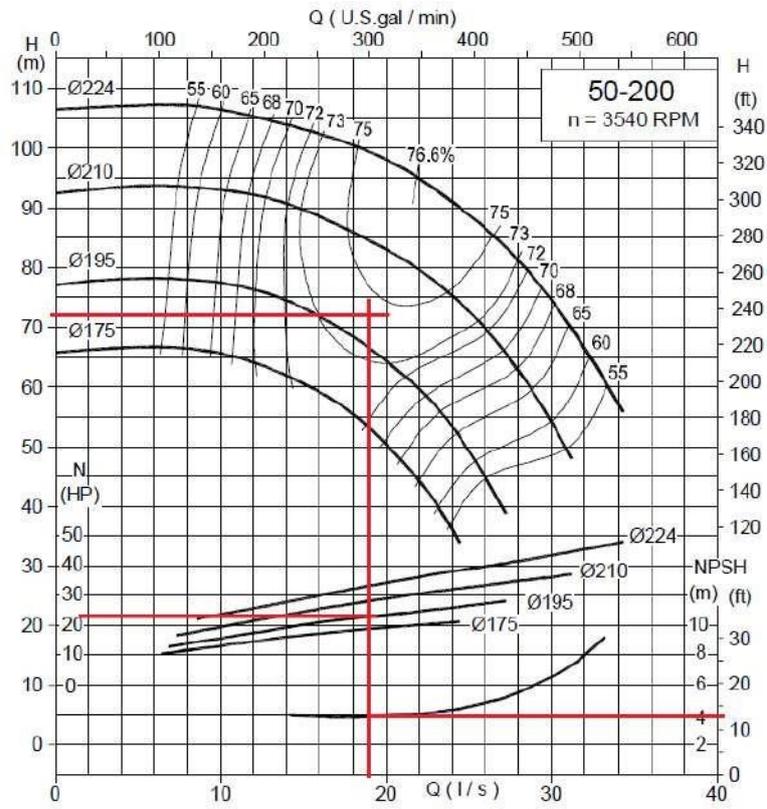


Figura 18. Curvas de operación y funcionamiento de bomba modelo 50-200  
 Fuente: Catalogo Hidrostral

$$\phi = 195 \text{ mm}$$

$$n = 76.6 \%$$

$$N = 20 \text{ HP}$$

$$NPSH_{requerido} = 4 \text{ m}$$

Calculamos el NPSH disponible como:

$$NPSH_{disponible} = \left( \frac{p_0}{\rho g} + Z - Y \right) - \frac{p_v}{\rho g} \text{ m}$$

$$NPSH_{disponible} = \left( \frac{99445.5}{1000 * 9.8} + 72 \right) - \frac{3782}{1000 * 9.8} = 81.8 \text{ m}$$

Por lo tanto, comparando la carga neta de aspiración positiva disponible y requerida, se tiene que:

$$NPSH_{disponible} = 81.8 \text{ m} > NPSH_{requerido} = 4 \text{ m}$$

Se verifica que no se producirá cavitación en la instalación.

### **Dimensionamiento de las Tuberías:**

El diámetro de las líneas de aspiración e impulsión se determina:

#### Circuito-torre

##### *\* Aspiración*

Con un caudal de  $Q = 55 \frac{l}{s}$  ( $0.055 \frac{m^3}{s}$ ) se puede determinar el diámetro a través de

la ecuación de continuidad considerando como máximo la velocidad de 1 m/s:

$$Q = VA = \frac{\pi}{4} V \phi^2 \rightarrow V = \frac{4Q}{\pi \phi^2}$$

Consideramos:

$$D_{ext} = 12 \text{ pulg (323.8 mm)}$$

$$\text{Espesor} = 10.31 \text{ mm}$$

$$\phi = D_{ext} - 2 * \text{espesor} = 323.8 - 2 * 10.31 \text{ mm} = 303.18 \text{ mm (0.3032 m)}$$

Por lo tanto:

$$V = \frac{4Q}{\pi \phi^2} = \frac{4 * 0.055}{\pi * 0.3032^2} = 0.76 \frac{m}{s}$$

Esta velocidad es menor que 1 m/s por lo tanto es válida.

##### *\* Impulsión*

Realizamos el mismo análisis teniendo en cuenta que la velocidad debe ser igual o mayor a 1.7 m/s.

Consideramos:

$$D_{ext} = 8 \text{ pulg (219.1 mm)}$$

$$Espesor = 8.18 \text{ mm}$$

$$\phi = D_{ext} - 2 * espesor = 219.1 - 2 * 8.18 \text{ mm} = 202.7 \text{ mm} (0.2027 \text{ m})$$

Por lo tanto:

$$V = \frac{4Q}{\pi\phi^2} = \frac{4 * 0.055}{\pi * 0.2027^2} = 1.7 \frac{m}{s}$$

Esta velocidad es igual a la velocidad recomendada de 1.7 m/s.

### Circuito-planta

#### \* Aspiración

Se realiza el mismo cálculo, con un caudal de  $Q = 19 \frac{l}{s}$  ( $0.019 \frac{m^3}{s}$ ) y considerando

como máximo la velocidad de 1 m/s:

$$Q = VA = \frac{\pi}{4} V\phi^2 \rightarrow V = \frac{4Q}{\pi\phi^2}$$

Consideramos:

$$D_{ext} = 6 \text{ pulg} (168.3 \text{ mm})$$

$$Espesor = 7.11 \text{ mm}$$

$$\phi = D_{ext} - 2 * espesor = 168.3 - 2 * 7.1 \text{ mm} = 154.1 \text{ mm} (0.1541 \text{ m})$$

Por lo tanto:

$$V = \frac{4Q}{\pi\phi^2} = \frac{4 * 0.019}{\pi * 0.1541^2} = 1.02 \frac{m}{s}$$

Esta velocidad se encuentra alrededor de lo recomendado que es 1m/s.

#### \* Impulsión

Para la impulsión se tiene que el flujo que se debe descargar es el caudal total, esto es, el flujo de las tres bombas, así que,  $Q = 3 * 19 \frac{l}{s} = 57 \frac{l}{s}$  ( $0.057 \frac{m^3}{s}$ ). Con esto,

realizamos el mismo análisis teniendo en cuenta que velocidad debe ser igual o mayor 1.7 m/s.

Consideramos:

$$D_{ext} = 8 \text{ pulg (219.1 mm)}$$

$$\text{Espesor} = 8.18 \text{ mm}$$

$$\phi = D_{ext} - 2 * \text{espesor} = 219.1 - 2 * 8.18 \text{ mm} = 202.7 \text{ mm (0.2027 m)}$$

Por lo tanto:

$$V = \frac{4Q}{\pi\phi^2} = \frac{4 * 0.057}{\pi * 0.2027^2} = 1.77 \frac{m}{s}$$

Esta velocidad es mayor que el límite considerado, por lo tanto, cumple con la recomendación.

Tabla 4.

Dimensiones y pesos nominales de tubos SCH-40 y SCH-80

Diámetro nominal	Diámetro exterior	SCH-40		SCH-80		
		pulg	mm	Espesor (mm)	Peso (kg/m)	Espesor (mm)
1/4"	13.70		2.24	0.63	3.02	0.80
3/8"	17.10		2.31	0.84	3.20	1.10
1/2"	21.30		2.77	1.27	3.73	1.62
3/4"	26.70		2.87	1.69	3.91	2.20
1"	33.40		3.38	2.50	4.55	3.24
1 1/4"	42.20		3.56	3.39	4.85	4.47
1 1/2"	48.30		3.68	4.05	5.08	5.41
2"	60.30		3.91	5.44	5.54	7.48
2 1/2"	73.00		5.16	8.63	7.01	11.41
3"	88.90		5.49	11.29	7.62	15.27
3 1/2"	101.60		5.74	13.57	8.08	18.63
4"	114.30		6.02	16.08	8.56	22.32
5"	141.30		6.55	21.77	9.53	30.97
6"	168.30		7.11	28.26	10.97	42.56
8"	219.10		8.18	42.55	12.70	64.64
10"	273.00		9.27	60.29	15.09	95.98
12"	323.80		10.31	79.71	17.48	132.05
14"	355.60		11.13	94.55	19.05	158.11
16"	406.40		12.70	123.31	19.05	181.98

Fuente: YOHERSA Yoshimoto Hermanos SAC (2019)

### ***3.4 Determinación de los indicadores económicos que mejore la disipación de calor en la zona de autoclave de la empresa Viru S.A.***

En la tabla 5 se presentan los costos referidos a la parte Hidráulica y Mecánica, en el anexo 6 se presenta las partidas desglosadas y ampliadas.

*Tabla 5.*

*Costos de Implementación de la Torre de Enfriamiento: HIDRAULICO-MECANICO*

<b>PARTIDA</b>	<b>COSTO (S/.)</b>
ELEMENTOS HIDRÁULICOS A INSTALAR	67,191.10
PERSONAL OPERATIVO	83,400.00
EQUIPOS A INSTALAR	92,748.25
EQUIPOS Y HERAMIENTAS A UTILIZAR	28,230.00
SEÑALIZACIONES DE SEGURIDAD	335.00
EPPS	4,252.00
HERRAMIENTAS	4,064.00
EQUIPO DE OFICINA	3,300.00
CONSUMIBLES	16,864.70
<b>TOTAL</b>	<b>300,385.05</b>

Fuente: Elaboración propia

*En la tabla 6 se presentan los costos referidos a la parte civil.*

Tabla 6

Costos de Implementación de la Torre de Enfriamiento: CIVIL

Item	Descripción de partida	U.M	CANT.	PRECIO UNITARIO S/.	TOTAL S/.
<b>1.00</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES</b>				
	Moviliz. Y Desmoviliz. De Materiales, Equipo Y Maq. A Ob	Vje	4.00	150.00	600.00
<b>2.00</b>	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>				
	Limpieza de Terreno	m2	98.98	1.67	165.30
	Trazo y Replanteo	m2	98.98	2.64	261.31
<b>3.00</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				
	Excavación de Zanjas p/ Zapatas	m3	52.40	60.40	3,164.96
	Corte de Terreno para base de Hormigón	m2	13.40	34.54	462.84
	Relleno con Material Propio	m3	22.21	20.13	447.09
	Base de Hormigón, e=15 cm, para Pisos	m2	13.40	7.66	102.64
	Acarreo de Material Excedente	m3	40.25	20.13	810.23
	Eliminación de Material Excedente	m3	40.25	37.73	1,518.63
<b>4.00</b>	<b>CONCRETO SIMPLE</b>				
	Solados de Concreto 1:12, C:H, e=4"	m2	17.60	29.33	516.21
	Concreto f'c = 140 kg/cm2, EN LOSA	m3	1.34	272.68	365.39
	Encofrado y Desencofrado EN LOSA	m1	30.88	17.29	533.92
<b>5.00</b>	<b>CONCRETO ARMADO</b>				
<b>5.01</b>	<b>ZAPATAS</b>				
	Concreto f'c = 210 kg/cm2 EN ZAPATAS	m3	10.56	282.75	2,985.84
	Aceros f'c = 4200 kg/cm2 EN ZAPATAS	kg	228.10	3.73	850.81
<b>5.02</b>	<b>MURO ARMADO</b>				
	Concreto f'c = 210 kg/cm2 EN MURO	m3	47.61	411.29	19,581.52
	Encofrado y Desencofrado EN MURO	m2	376.16	49.64	18,672.58
	Aceros f'c = 4200 kg/cm2 EN MURO	kg	3,586.33	3.79	13,592.19
<b>5.03</b>	<b>COLUMNAS</b>				
	Concreto f'c = 210 kg/cm2 EN COLUMNAS	m3	3.90	411.29	1,604.03
	Encofrado y Desencofrado EN COLUMNAS	m2	50.70	49.64	2,516.75
	Aceros f'c = 4200 kg/cm2 EN COLUMNAS	kg	746.81	3.82	2,852.81
<b>5.04</b>	<b>LOSA MACIZA</b>				
	Concreto f'c = 210 kg/cm2 EN LOSA MACIZA	m3	44.38	335.09	14,871.29
	Encofrado y Desencofrado EN LOSA MACIZA	m2	98.98	55.20	5,463.70
	Aceros f'c = 4200 kg/cm2 EN LOSA MACIZA	kg	4,833.92	3.73	18,030.52
<b>5.05</b>	<b>ESCALERA</b>				
	Concreto f'c = 210 kg/cm2 EN ESCALERA	m3	1.31	431.90	565.79
	Encofrado y Desencofrado EN ESCALERA	m2	14.40	55.20	794.88
	Aceros f'c = 4200 kg/cm2 EN ESCALERA	kg	113.65	3.73	423.91
<b>5.06</b>	<b>LOSAS PARA BOMBAS</b>				
	Concreto f'c = 210 kg/cm2 EN LOSA MACIZA	m3	1.56	335.09	522.74
	Encofrado y Desencofrado EN LOSA MACIZA	m2	15.59	55.20	860.57
	Aceros f'c = 4200 kg/cm2 EN LOSA MACIZA	kg	169.90	3.73	633.73
					<b>113,772.18</b>
					13,652.66
					<b>127,424.84</b>

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7 se presentan los costos de la parte eléctrica.

Tabla 7.

Costos de Implementación de la Torre de Enfriamiento: ELECTRICO

PARTE ELÈCTRICA (2 SEMANAS O 15 días laborables)			
<b>MAESTRO</b>	1	120	S/. 1,800.00
<b>TÈCNICO ELECTRICISTA</b>	2	80	S/. 2,400.00
<b>TOTAL</b>	3		<b>S/. 4,200.00</b>

Es importante resaltar que los tableros y cableado se ha considerado en la parte de equipos y herramientas de la parte hidráulica y mecánica.

Finalmente, los costos totales de los tres rubros se muestran en la tabla 8

Tabla 8.

*Costos totales de la implementación del sistema de enfriamiento de agua*

<b>COSTOS DE LA PARTE I DEL PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN DE TORRES DE ENFRIAMIENTO</b>	
<b>CONCEPTO</b>	<b>COSTO</b>
HIDRAÚLICA/ MECÁNICA	S/. 300,385.05
CIVIL	S/. 127,424.84
ELÉCTRICA (INSTALACIÓN)	S/. 4,200.00
SUB TOTAL 1	S/. 432,009.88
GASTOS FINANCIEROS=10%	S/. 43,200.99
SUB TOTAL 2	S/. 475,210.87
UTILIDAD=17%	S/. 80,785.85
SUBTOTAL 3	S/. 555,996.72
IGV=18%	S/. 100,079.41
TOTAL	S/. 656,076.13

#### IV. ANALISIS Y DISCUSION

Se aprecia un riesgo de capacidad de enfriamiento, cuando las condiciones críticas de verano aumenten la temperatura de los fluidos, sea temporada de corriente del niño y cualquier variable que aumente la temperatura de ambiente, y además se requiera atender la condición más crítica de los clientes en épocas de producción sobreestimada, el balance de frío se encontrará en déficit de 17.5 m<sup>2</sup> de área de torre extra a las 23 m<sup>2</sup> propuesto en el diseño actual.

Se deberá tener en cuenta esta observación, ya que las condiciones no ayudarán a la torre de enfriamiento y lo más probable es que se cuente con una disminución de producción y aumento de tiempo de enfriamiento en cada batch.

Debido que las torres son del mismo modelo, se tiene la ventaja de la intercambiabilidad de repuestos y versatilidad de conseguirlos, así como del relleno y eliminadores de gotas de las torres, facilitando así el mantenimiento de la torre de enfriamiento y reduciendo los costos operativos para tal fin.

La poza de agua es única para ambas torres, por lo que se debe considerar un tratamiento especial cuando se realice el mantenimiento de cada una de ellas, ya que para evitar que los residuos generados por la limpieza, tales como los detergentes, no se combinen con el agua fría. Para evitar esto, se deberá “by-pasear” dicha torre o utilizar una torre de “stand by” para estas contingencias.

Así mismo en nuestro análisis es importante que se tenga una bomba en “stand by” para no parar la producción durante su mantenimiento o cuando exista algún inconveniente.

## V. CONCLUSIONES

Se implementó en el presente trabajo de investigación un sistema de enfriamiento de agua caliente proveniente de las plantas 1, 2 y 6 de autoclaves mediante una torre de enfriamiento el cual es enfriado satisfactoriamente con lo cual se consiguió una optimización de los recursos, por ejemplo, el ahorro en agua se ha visto disminuido sustancialmente pues ahora el agua se recicla y no se elimina, con ello se mejoró la productividad de ambas plantas.

Se realizó una evaluación actual de la carga térmica de las tres plantas de autoclave obteniéndose que la planta 1 requiere disipar un flujo de calor de 2 109 123 kCal/h, la planta dos 2 234 406 kCal/h y la planta seis 1 002 270 kCal/h sumando un total de 5 880 379 kCal/h este es el calor que genera el proceso de autoclaveado se debe disipar en el sistema de Torres de Enfriamiento a plena carga. Las condiciones de temperatura en la operación de la autoclave se cuantifico en planta desde 120 a 31 °C a la entrada y salida, respectivamente del equipo. Además, también se incluye las canastillas, los envases y el producto para un tiempo de permanencia de 20 min.

Se lleva a cabo el cálculo térmico de la torre de enfriamiento de tiro inducido a contraflujo (contracorriente), y se determina que el caudal de agua de enfriamiento es de 203 m<sup>3</sup>/h, las condiciones de temperatura del aire de bulbo húmedo y seco de entrada son 28 °C y 25 °C, y las temperaturas del agua de entrada y salida son 40°C y 28°C, respectivamente. A través del análisis térmico de la torre de enfriamiento, a plena saturación, se determinó que la temperatura del aire de bulbo húmedo y seco a la salida era de 32,52 °C. Finalmente, la carga térmica es de 3879,4 kW

Se realizó el cálculo y selección de equipos auxiliares como bombas centrífugas: para el circuito – torre se ha seleccionado 02 bombas marca Hidrostal, modelo 125-250, régimen de giro n=160 rpm, con un caudal de 55 l/s y una altura de 10 m, el diámetro del rotor de 260 mm, la potencia de 15 HP, rendimiento de la bomba 60% y el NPSH requerido de 2 m. Para el circuito – planta se ha seleccionado 03 bombas marca Hidrostal, modelo 50-200, régimen e giro n=3540 rpm, con un caudal de 19 l/s y una altura de 72 m, el diámetro del rotor de 195 mm, la potencia de 20 HP,

rendimiento de la bomba 76.6% y el NPSH requerido de 4 m. Calculo y selección de Tuberías: circuito – torre: diámetro nominal de 12 pulg. (aspiración) y 8 pulg (impulsión), para circuito – planta: diámetro nominal de 8 pulg. (aspiración) y 6 pulg (impulsión).

Se evaluaron indicadores económicos, y los costos asociados a la implementación de un sistema de enfriamiento a través de torres de enfriamiento se encuentran en los siguientes rubros: hidráulica/mecánica S/. 300 385.05, Civil S/. 127 424.84 y Eléctrica (instalación) S/. 4 200.00 haciendo un total de S/. 432 009.88. Considerando 10% de gastos financieros, 17% de utilidades y 18% de IGV se obtuvo un monto total de S/. 656 076.13.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Es necesario instalar un sistema de funcionamiento de encendido automático de las bombas para controlar que la presión sea constante en el sistema cada vez que se opere una autoclave.

Debido a que el conjunto motor bomba ya han sido usados en otra planta, es necesario brindarles un mantenimiento permanente, especialmente los equipos de bombeo a planta, pues tienen motores que giran a velocidad alta.

Debido a que el sistema de enfriamiento trabaja en forma continua sin parar durante la producción, es necesario programar una inspección mensual como mínimo y un mantenimiento cada 3 meses de la torre de enfriamiento para así garantizar su eficiencia y la inocuidad.

Las torres no deben estar techadas, ni deben estar cerca de lugares donde existan emanación de vapores o aire caliente ya que esto hace que exista un reflujo y perderían rendimiento. Para poder evitar problemas en la producción, es necesario que se tenga una bomba en “stand by” para no parar el proceso producción, y así evitar pérdidas para la empresa.

La poza de agua, debido al diseño que se realizó para una mayor eficiencia en cuanto a enfriamiento, se subdividieron en cuatro, por lo que se debe considerar un tratamiento especial cuando se realice el mantenimiento de cada una de ellas, ya que para evitar que los residuos generados por la limpieza, tales como los detergentes, no se combinen con el agua fría, así como también las suciedades que se presentan en las tuberías de recirculación.

Se debe considerar el tratamiento del agua de refrigeración para proteger los intercambiadores de calor. y a las tuberías del encalichamiento y evitar la formación de bacterias.

Se debe considerar parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el control de la calidad del agua de refrigeración.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ballou, R. (2004). *Logística: Administración de la Cadena de Suministro*. Editorial Pearson Educación. 5ta. Edición. Naucalpan de Juárez - México.
- Anaya T. y Polanco M. (2007). *Innovación y Mejora de Procesos Logísticos: Análisis, diagnósticos e implantación de sistemas logísticos*. Editorial ESIC. 2da. Edición. Madrid – España.
- Valdés P. (1988). *Administración logística*. Editorial SAGSA. 3ra. Edición. Lima – Perú.
- Anaya T. (2011). *Logística Integral: La gestión operativa de la empresa*. Editorial ESIC. 4ta. Edición. Madrid – España.
- Soles Valdivia, Luis (2013). *Evaluación de desempeño de una torre de enfriamiento de tiro inducido flujo contracorriente* (Tesis de pregrado), Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú.
- Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2004). *Fundamentos de termodinámica técnica*. España: Editorial Reverté, S. A.
- Aguilar García, H. (2017). *Diseño y optimización de una torre de enfriamiento de tiro inducido*. (Tesis de Ingeniero Químico). Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México, México.
- Avendaño Ramos, C. (2009). *Implementación de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo de acuerdo a la metodología RCM II en bombas centrifugas grado de alimenticio*. (Tesis de Ingeniero Mecánico). Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de Azcapotzalco, México.
- Blanco García, A. (2011). *Estudio y cálculo de torres de refrigeración de tiro inducido y flujo cruzado*. (Tesis de Ingeniero Mecánico). Universidad Carlos III de Madrid, España.
- Bosquez Molina, E. y Colina Irezabal, M. (2010). *Procesamiento Térmico de Frutas y hortalizas*. Mexico: Editorial Trillas.

- Celestino Porras, S. y Fernández Paucar, H. (2017). *Rendimiento térmico de una torre de enfriamiento de tiro forzado en contracorriente*. (Tesis de Ingeniero Químico). Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú.
- Gaviria López, B y Mazuera García, P. (2010). En su artículo titulado: *Evaluación del tratamiento térmico de las arvejas enlatadas (Pisum Sativum) en salmuera*. (Artículo Científico). Revista Publicaciones e investigación. ISSN: 1900-6608, Volumen 4.
- Hernández, Roberto y Mendoza, Chirstian P. *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativas cualitativa y mixta*. 2.da ed. México, D.F.: McGraw-Hill, 2018. 754 pp.
- Baptista, Pilar, Fernández, Carlos y Hernández, Roberto. *Metodología de la investigación*. 6.ta ed. México, D.F.: McGraw-Hill, 2014. 600 pp.
- Mendoza Cabrera, J. y Gallardo Segura, A. (2016). *Diseño y Construcción de un prototipo de Torre de Enfriamiento de Tiro Inducido a Contraflujo*. (Tesis de Ingeniero Industrial). Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador.
- Mendoza Chamagua, P. y Zavala Espinoza, K. (2013). *Diseño y pruebas de funcionamiento de un sistema para esterilización comercial de Alimentos*. (Tesis de Ingeniero de Alimentos). Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador.
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), (2007). *Guía Técnica de Torres de Refrigeración*. Madrid, España.
- Mott, Robert (2006). *Mecánica de fluidos*. Sexta 6ta Edición. México D.F. editorial McGrawHill - Interamericana.
- Olin Pachari, C. (2015). *Diseño e implementación de un sistema para la evaluación del tratamiento térmico de alimentos envasados*. (Informe de

Suficiencia de Ingeniero Físico). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Paucar Cuba K. y Vas Cullar M. (1999). *Diseño y Construcción de una Torre de Enfriamiento de Tiro inducido con Flujo en Contracorriente*. (Tesis de Ingeniero Químico). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Restrepo García, J. (2011). *Diseño operacional de una torre de enfriamiento adiabática de agua de tiro mecánico inducido contracorriente a escala de laboratorio*. (Tesis de Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Fuentes Yague, José (2003). *Técnicas de Riego*. 4ta Edición. Ministerios de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid - España editorial Mundi-Prensa. Revisado en: [Técnicas de riego - José Luis Fuentes Yagüe - Google Libros](#).

**Páginas web:**

QuimiNet.com. (2018, 25 agosto). *Autoclave industrial: funcionamiento y tipos*. QuimiNet, S.A. de C.V. <https://www.quiminet.com/articulos/autoclave-industrial-funcionamiento-y-tipos-2651729.htm>

*Autoclave industrial*. (2018, 13 octubre). Autoclave de vapor. <https://autoclavedevapor.com/autoclave-industrial/>

*Autoclave Rotativo*. (s. f.). FERLO Innovation Attitude. Recuperado 5 de marzo de 2019, de <https://ferlo.com/portfolio/autoclave-rotativo/>

*Autoclave estática*. (s. f.). FERLO Innovation Attitude. Recuperado 5 de marzo de 2019, de <https://ferlo.com/portfolio/autoclave-estatica/>

*Ingemecanica*. (s. f.). Ingemecanica. Recuperado 22 de mayo de 2019, de <https://ingemecanica.com/>

Ops-Cosude (2007). *Guía para la selección equipos de bombeo para sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento para el medio rural*. Recuperado de: [Guía selección equipos bombeo-rural \(sistemamid.com\)](http://sistemamid.com)

YOHERSA Yoshimoto Hermanos SAC (2019). *Tube Schedule (SCH), 40 y 80*. Lima, Perú. Recuperado de <https://www.yohersa.com/tubo-sch>

## **VIII. AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por darme fortaleza y la oportunidad de alcanzar una de mis anheladas metas.

A mi familia, a mis padres, Enrique Lázaro y Marisol Vilela, porque gracias a ellos, por su sacrificio durante todo este tiempo, soy y estoy cumpliendo con mi gran objetivo, por su preocupación y comprensión hacia mi logro personal, apoyándome durante mis años de estudios, a mi hermana Milagros Lázaro Vilela, por siempre estar a mi lado.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad San Pedro por darme la oportunidad ser parte de ella, permitiéndome adquirir conocimientos útiles para la vida profesional

*Lázaro Vilela, Frank Jorman*

## **IX. ANEXOS Y APENDICES**

Anexo 1.

*VISTA ISOMETRICA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO*

3"

5 AUTOCLAVES  
DE PLANTA 2

7 AUTOCLAVES  
DE PLANTA 1

TORRE DE ENFRIAMIENTO

3"

3 AUTOCLAVES  
DE PLANTA 6

BOMBAS DE AGUA  
DE RECIRCULACION

	FECHA	NOMBRE	FIRMAS
Dibujado :	27/08/18	R.D.R.M	
Revisado :	10/09/18	C.E.R.Z	

**AYNI SAC**  
Credendo Vides

Id.s.norm. : UNE 1035 Tolerancia General  
Escala



1:200

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO VIRU

PLANO N°: Rev:  
VIRU - SEPL18 - 003 03



TORRE DE ENFRIAMIENTO

BOMBAS DE AGUA  
PARA PLANTA

6  
5 AUTOCLAVES  
DE PLANTA 2

3

6

4"

3" 3 AUTOCLAVES  
DE PLANTA 6

8

6

3"

7 AUTOCLAVES  
DE PLANTA 1

	FECHA	NOMBRE	FIRMAS
Dibujado :	27/08/18	R.D.R.M	
Revisado :	10/09/18	C.E.R.Z	

Id.s.norm. : UNE 1035 Tolerancia General  
Escala

1:200

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO VIRU

PLANO N°: Rev:  
VIRU-SEPL18 - 002 03



Anexo 2.

*VISTAS PRINCIPALES DE AUTOCLAVES EN PLANTA 1*

3"

3"

SALIDA DE AGUA CALIENTE  
HACIA TORRES DE ENFRIAMIENTO

INGRESO DE AGUA FRIA  
DESDE TORRES DE ENFRIAMIENTO

INTERCAMBIADOR DE CALOR

AUTOCLAVES

	FECHA	NOMBRE	FIRMAS
Dibujado :	27/08/18	R.D.R.M	
Revisado :	10/09/18	C.E.R.Z	
Id.s.norm. :	UNE 1035		Tolerancia General
Escala			

1:100

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO VIRU

**AYNI SAC**  
Credendo Vides



PLANO N°:

Rev:

VIRU - SEPL18 - 006 03



Anexo 3.

*VISTAS PRINCIPALES DE AUTOCLAVES EN PLANTA 2*

INGRESO DE AGUA FRIA  
DESDE TORRE DE ENFRIAMIENTO

SALIDA DE AGUA CALIENTE  
HACIA TORRE DE ENFRIAMIENTO

	FECHA	NOMBRE	FIRMAS
Dibujado :	27/08/18	R.D.R.M	
Revisado :	10/09/18	C.E.R.Z	

Id.s.norm. : UNE 1035 Tolerancia General

Escala

**AYNI SAC**  
Credendo Vides



PLANO N°:      Rev:

1:100

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO VIRU

VIRU - SEPL18 - 005    03



Anexo 4.

*VISTAS PRINCIPALES DE AUTOCLAVES EN PLANTA 6*

3 3

	FECHA	NOMBRE	FIRMAS
Dibujado :	27/08/18	R.D.R.M	
Revisado :	10/09/18	C.E.R.Z	

Id.s.norm. : UNE 1035 Tolerancia General  
Escala

1:100

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO VIRU

PLANO N°: Rev:

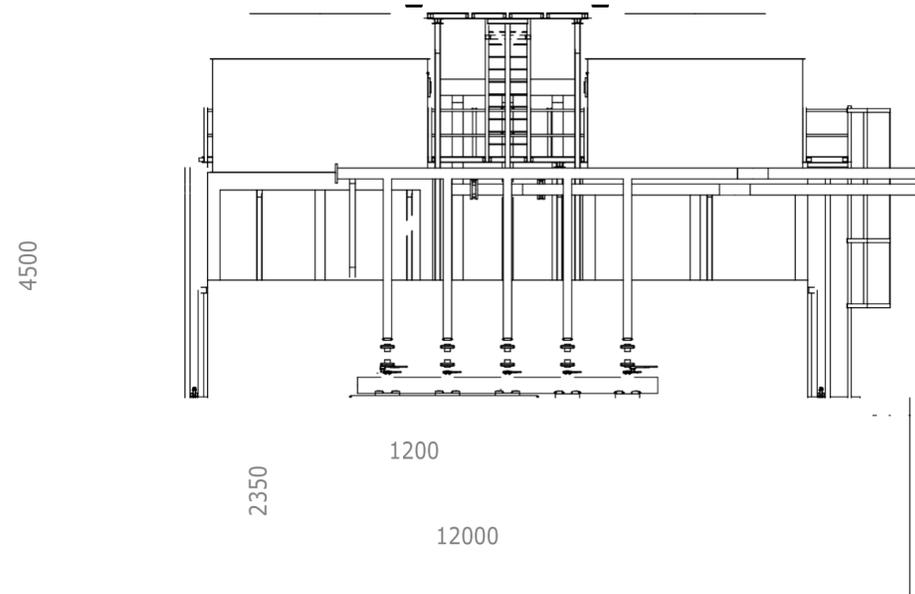
VIRU - SEPL18 - 007 03



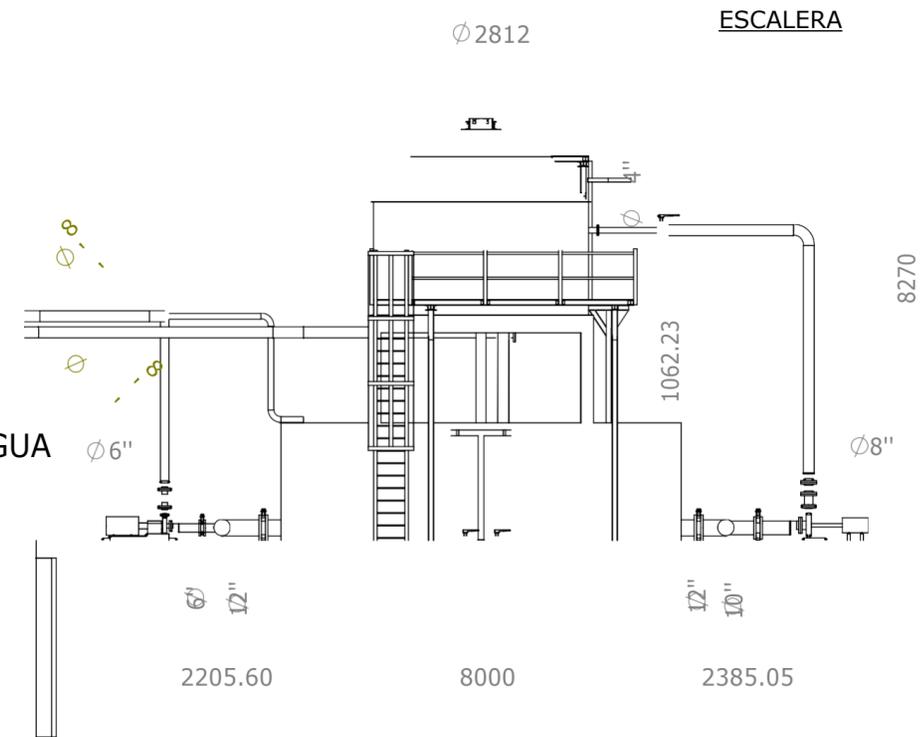
Anexo 5.

*VISTAS PRINCIPALES DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO*

**PASILLO PARA ACCESO  
A LOS VENTILADORES**

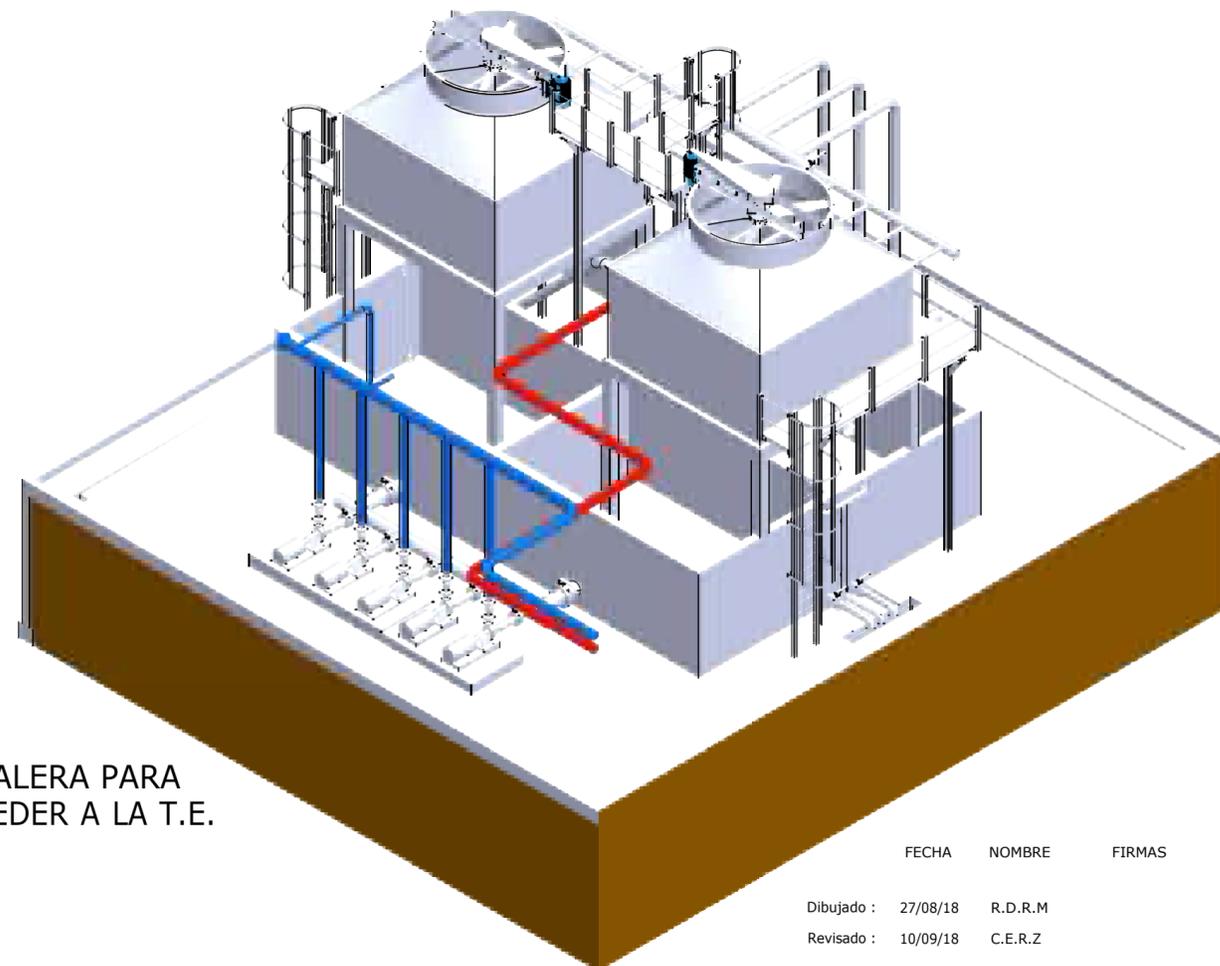
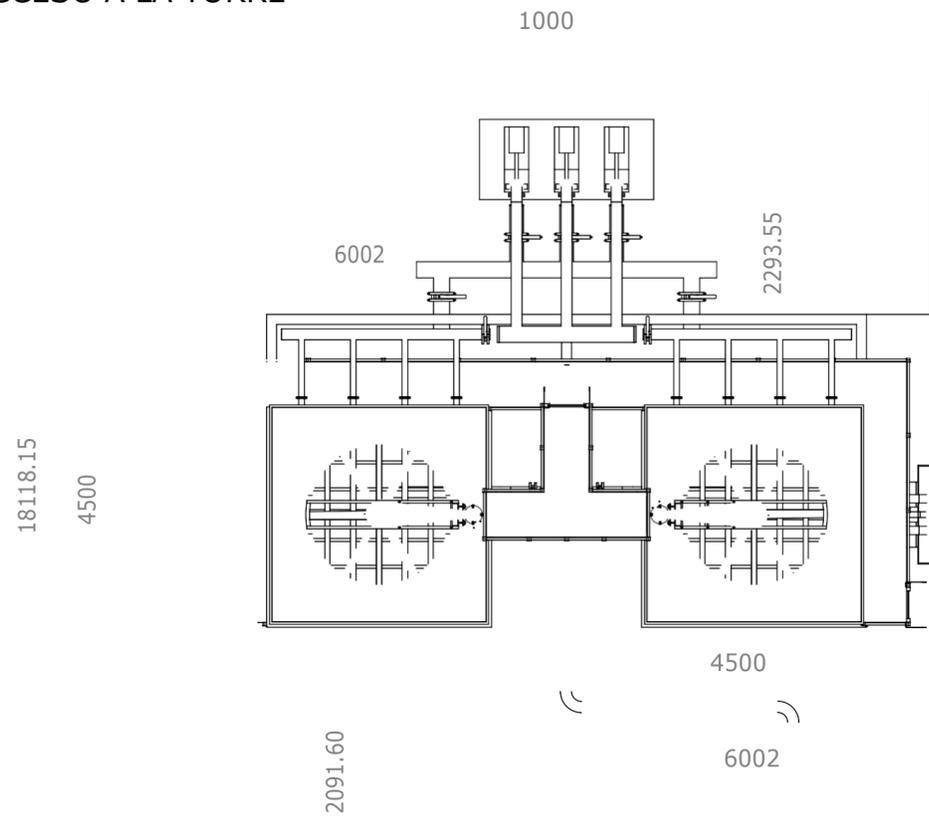


**BOMBAS DE AGUA  
PARA PLANTA**



**BOMBAS DE AGUA  
DE RECIRCULACION**

**PASILLOS PARA  
ACCESO A LA TORRE**



**ESCALERA PARA  
ACCEDER A LA T.E.**

	FECHA	NOMBRE	FIRMAS
Dibujado :	27/08/18	R.D.R.M	
Revisado :	10/09/18	C.E.R.Z	
Id.s.norm. :	UNE 1035		Tolerancia General
Escala			





Anexo 6.

Costos de Implementación de la Torre de Enfriamiento:

**HIDRAULICO/MECANICO**

ELEMENTOS HIDRAULICOS A INSTALAR		CANTIDAD	PRECIO UNITARIO US	TOTAL
TUBERÍA	48m METROS DE 2"	8	31.02	248.16
	0.25m METROS DE 2 1/2"	1	50.76	50.76
	18m METROS DE 3"	3	64.38	193.14
	14.4m METROS DE 4"	3	92.4	277.2
	144m METROS DE 6"	24	153.6	3686.4
	56.4m METROS DE 10"	10	348.84	3488.4
<b>ACCESORIOS</b>				
BRIDA SLIP ON 150	DE 2 1/2"	18	6.978	125.604
	DE 3"	30	7.248	217.44
	DE 4"	48	10.48	503.04
	DE 6"	46	15.648	719.808
	DE 10"	71	33.36	2368.56
BRIDA CIEGA	DE 6"	1	23.78	23.78
	DE 10"	7	52	364
CODOS 90° CS ASTM A234	DE 3"	6	3.032	18.192
	DE 4"	44	5.416	238.304
	DE 6"	28	14.544	407.232
	DE 10"	45	54.678	2460.51
CODO ROSCADO	DE 2 1/2"	10	4.64	46.4
	DE 3"	30	6.5	195
TEE	DE 10"	1	56.63	56.63
VÁLVULAS MARIPOSA WAFER MANUALES	DE 4"	12	118.349	1420.188
	DE 6"	14	173.196	2424.744
VÁLVULAS CHECK	DE 3"	6	145.58	873.48
	DE 6"	4	449.322	1797.288
FILTRO CANASTILLA	DE 10"	4	80	320
REDUCCIONES BRIDADAS CONCÉNTRICAS	DE 3 A 2 1/2	6	1.74	10.44
	DE 6 A 2 1/2	4	8.26	33.04
	DE 6 A 3	12	7.49	89.88
	DE 4 A 2 1/2	6	3.5	21
	DE 10 A 4	18	15.5	279
	DE 10 A 6	13	18.4	239.2
REDUCCION SOLDADAS C	DE 6 A 3	0	7.49	\$0.00
MANOMETROS	de 0 a 10 bar	20	40	800
<b>SUB TOTAL 1</b>			Dólares	\$ 23,996.82
			Soles	S/. 67,191.10

PERSONAL OPERATIVO	CANTIDAD	COSTO POR DÍA	COSTO BIMENSUAL
SOLDADOR	2	120	S/. 14,400.00
AYUDANTE DE SOLDADOR	2	80	S/. 9,600.00
MAESTRO ARMADOR	1	120	S/. 7,200.00
AYUDANTE DE MAESTRO ARMADO	1	80	S/. 4,800.00
MONTAJISTAS	3	100	S/. 18,000.00
SUPERVISOR DE OPERACIONES	1	120	S/. 7,200.00
SUPERVISOR DE SEGURIDAD	1	120	S/. 7,200.00
GERENTE	1	120	S/. 7,200.00
<b>PERSONAL DE LOGÍSTICA</b>			
COMPRADOR	1	80	S/. 4,800.00
ADMINISTRADOR	1	50	S/. 3,000.00
			S/. 83,400.00
<b>TOTAL PERSONAL</b>	<b>14</b>		

**SUB TOTAL 2** S/. 83,400.00

PD. Se ha considerado 60 dias

EQUIPOS A INSTALAR	CANTIDAD	COSTO POR HORA	COSTO DE UNIDAD	TIEMPO DE USO HORAS	DEPRECIACIÓN	TOTAL
ELECTROBOMBA HIDROSTAL C 1 1/2" X 2 1/2"	6		6,600.00			S/. 39,600.00
ELECTROBOMBA HIDROSTAL 100-200	4		10544.06			S/. 42,176.25
TABLERO GENERAL DE LAS BOMBAS Y VENTILADORES	1		1,000.00			S/. 1,000.00
TABLERO DE BOMBAS DE PLANTA	1		2,500.00			S/. 2,500.00
TABLERO DE BOMBAS DE TORRE DE ENFRIAMIENTO	1		2,000.00			S/. 2,000.00
TABLERO DE VENTILADORES	1		2,000.00			S/. 2,000.00
POSTES PARA TUBERÍAS + BASES	8		434.00			S/. 3,472.00
						<b>S/. 92,748.25</b>

EQUIPOS Y HERAMIENTAS A UTILIZAR	CANTIDAD	COSTO POR HORA	COSTO DE UNIDAD	TIEMPO DE USO HORAS	DEPRECIACIÓN	TOTAL
MÁQUINA DE SOLDAR MIG 380V	2				50	S/. 100.00
GRÚA DE 5 TN	1	200		104		S/. 20,800.00
MÁQUINAS DE SOLDAR ELÉCTRICAS DE 380 V	4				500	S/. 2,000.00
COMPRESORAS	1		150.00			S/. 150.00
AMOLADORAS BOSCH GWS 26-230	2				90	S/. 180.00
AMOLADORAS BOSCH GWS 8-115	2				45	S/. 90.00
LUMINARIAS HALÓGENAS 500 W/220V	3		40.00			S/. 120.00
BOTIQUÍN	1		30.00			S/. 30.00
EXTINTORES ABC DE 6Kg (PARA OBRA)	2		120.00			S/. 240.00
TALADROS INHALAMBRICOS BOSCH	2				700	S/. 1,400.00
EQUIPOS DE OXICORTE	2				5	S/. 10.00
TRONZADORA-CORTADORA DE METALES MAKITA	1		700.00			S/. 700.00
TRONZADORA-CORTADORA DE METALES MAKITA	1				70	S/. 70.00
ANDAMIOS	6	1.25		312		S/. 2,340.00
						<b>S/. 28,230.00</b>

<b>SEÑALIZACIONES DE SEGURIDAD</b>						
SEÑAL DE CORRIENTE ALTERNA	4		3			S/. 12.00
SEÑAL DE ALTO VOLTAJE	4		3			S/. 12.00
POZO TIERRA	1		3			S/. 3.00
EXTINTOR ABC DE 6 Kg PERMANENTES	2		120			S/. 240.00
SEÑAL DE ALTA PRESIÓN	2		2			S/. 4.00
SEÑAL DE ALTA TEMPERATURA	4		3			S/. 12.00
PERÍMETRO DE LAS BOMBAS	ALREDEDOR DE LAS BOMBAS CON AMARILLO Y NEGRO					
CARTEL DE USO OBLIGATORIO DE EPPS	1		40			S/. 40.00
SEÑAL DE EXTINTOR	2		3			S/. 6.00
SEÑAL DE LA ALTURA DE LA TUBERIA.	2		3			S/. 6.00
						<b>S/. 335.00</b>

<b>EPPS</b>						
MANDILES DE SOLDADOR DE CUERO CROMADO	2		50			S/. 100.00
LENTES TRANSPARENTES	12		15			S/. 180.00
LUNETAS TRANSPARENTES PARA MASCARA DE SOLDAR	12		1			S/. 12.00
LUNETAS PARA SOLDAR DIN 12	12		3			S/. 36.00
MASCARILAS PICOLA	12		5			S/. 60.00
RESPIRADORES 3M CON FILTROS PARA SOLDAR	4		120			S/. 480.00
TAPONES AUDITIVOS TIPO OREJERAS PARA CASCOS	12		20			S/. 240.00
CASCOS ANSI Z89.1 TIPO 1 CLASE E TAMANO: 52-62CM	17		50			S/. 850.00
BOTAS PUNTA DE ACERO CON PLANTILLA DIELECTRICA	14		70			S/. 980.00
GUANTES DE SOLDADOR MANGA LARGA	4		20			S/. 80.00
CARETA TRANSPARENTE DE PROTECCIÓN FACIAL	6		25			S/. 150.00
GUANTES FLEX. DE MANIOBRA	12		15			S/. 180.00
ESCARPINES PARA SOLDADOR	4		10			S/. 40.00
Capucha para soldar y esmerilar	4		6			S/. 24.00
MAMELUCOS	14		60			S/. 840.00
						<b>S/. 4,252.00</b>

<b>HERRAMIENTAS</b>						
JUEGO DE LLAVES MIXTAS	4		105			S/. 420.00
TABLERO GENERAL PARA MÁQUINAS DE SOLDAR Y HERRAMIENTAS DE HABILITAMIENTO	1		1000			S/. 1,000.00
Llaves stilson	4		40			S/. 160.00
Niveles	4		20			S/. 80.00
Escuadras	6		10			S/. 60.00
Puntas centro	4		1			S/. 4.00
Cinceles	6		1			S/. 6.00
Winchas de 10 metros	6		18			S/. 108.00
Regla imantada para oxicorte	2		10			S/. 20.00
Bombos de soldadura portátiles	1		300			S/. 300.00
Arco de sierra	6		11			S/. 66.00
Carrito para transporte del equipo de oxicorte	2			5		S/. 10.00
ESCALERAS TIPO TIJERA DE 3m	3		500			S/. 1,500.00
CAJA DE HERRAMIENTAS	4		30			S/. 120.00
CUERDAS DE ISAJE	20 m			60		S/. 60.00
ARNESES DE CUERPO ENTERO OSHA 1932	5			30		S/. 150.00
						<b>S/. 4,064.00</b>

<b>EQUIPO DE OFICINA</b>						
Laptops	2		1500			S/. 3,000.00
Impresora EPSON	1		200			S/. 200.00
Utiles de escritorio	-		100			S/. 100.00
						<b>S/. 3,300.00</b>

CONSUMIBLES	CANTIDAD	COSTO UNIDAD	DEPRECIAS IÓN X MES	COSTO TOTAL
KG. DE BASE PARA TUBERÍA CELLOCORD P-T	55	30		S/. 1,650.00
KG. DE RECUBRIMIENTO Y ACABADO CELLOCORD 70G-T PARA TUBERÍA.	110	35		S/. 3,850.00
KG. DE E 6011 PARA POSTES Y BARANDAS	6	13		S/. 78.00
KG TRAPO INDUSTRIAL	10	4		S/. 40.00
CARTON		20		S/. 0.00
GALONES PINTURA ZINCROMATO EPÓXICA	6	215		S/. 1,290.00
GALONES PINTURA VERDE DE SEÑALIZACIÓN	6	44		S/. 264.00
GALONES PINTURA BLANCA DE SEÑALIZACIÓN	3	44		S/. 132.00
GALONES PINTURA AMARILLA DE SEÑALIZACIÓN	1	44		S/. 44.00
GALONES PINTURA NEGRA DE SEÑALIZACIÓN	1	44		S/. 44.00
THINNER ACRÍLICO	30	20		S/. 600.00
BROCHAS	6	7		S/. 42.00
DISCO DE CORTE $\Phi$ 4.5" X 1/4"	36	6		S/. 216.00
DISCO DE CORTE $\Phi$ 9" X 1/4"	36	12		S/. 432.00
DISCO DE DESBASTE $\Phi$ 4.5" X 1/4"	36	5		S/. 180.00
DISCO DE DESBASTE $\Phi$ 9" X 1/4"	36	10		S/. 360.00
ÁCIDO ORTOFOSFORICO	15	80		S/. 1,200.00
ESCOBILLAS DE FIERRO	24	3.5		S/. 84.00
PERNOS GRADO 6 3/4 x4	288	4		S/. 1,152.00
PERNOS GRADO 6 7/8x4	88	4		S/. 352.00
PERNOS GRADO 6 1"x4	312	5		S/. 1,560.00
CODOS 1 1/2" para baranda	26	3		S/. 78.00
TUBO DE 1 1/2", e=1.5mm-LAC 500 para baranda	28	30		S/. 840.00
EXTENSIONES MONOFÁSICAS DE 12 AWG de 25m	3	1.5		S/. 4.50
EXTENSIONES TRIFÁSICAS DE 10 AWG de 25m	2	2		S/. 4.00
EXTENSIONES TRIFÁSICAS DE 8 AWG de 15m	1	4		S/. 4.00
CONECTORES HEMBRAS 32Amp/ 380-440V-trifásica con puesta a tierra.	12	20		S/. 240.00
CONECTORES MACHOS 32Amp/ 380-440V-trifásica con puesta a tierra.	12	25		S/. 300.00
Pulpo conector 30 Amp/380V-440V	3	30		S/. 90.00
Gatas hidráulicas de 5TN	2		20	S/. 40.00
MALACATES	2	150		S/. 300.00
WINCHES	1		90	S/. 90.00
Balones de oxígeno para oxicorte	9	60		S/. 540.00
Balones de propano para oxicorte	3	35		S/. 105.00
BIDONES DE AGUA	10	15		S/. 150.00
ESCOBA Y RECOGEDOR	1	15		S/. 15.00
TIZA DE CALDERERO	12	1		S/. 12.00
es	6	2.5		S/. 15.00
HOJA DE SIERRA	6	6		S/. 36.00
CINTA AISLANTE 3M	6	4.2		S/. 25.20
NITRILO	4 m2	30		S/. 120.00
MASILLA	2	40		S/. 80.00
ENDURECEDOR DE MASILLA	2	3		S/. 6.00
LÍQUIDO PENETRANTE PARA SOLDADURA	1 equipo	200		S/. 200.00
				<b>S/. 16,864.70</b>

Anexo 7.

*Carta Psicrométrica del aire*



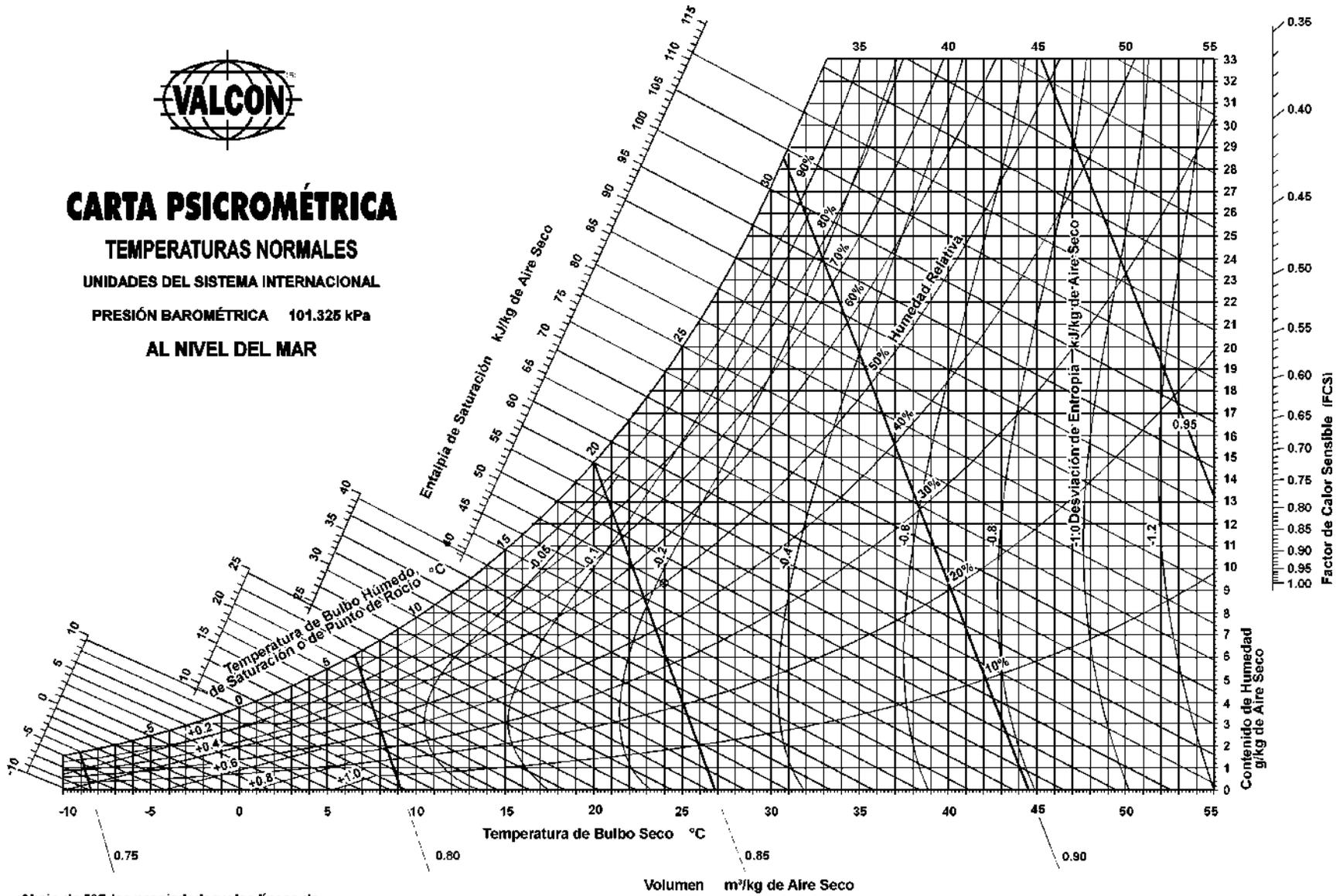
# CARTA PSICROMÉTRICA

TEMPERATURAS NORMALES

UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL

PRESIÓN BAROMÉTRICA 101.325 kPa

AL NIVEL DEL MAR



Abajo de 0°C las propiedades y las líneas de desviación de la entalpía son para el hielo

Figura 13.11 - Carta psicrométrica a temperaturas normales y presión barométrica de 101.325 kPa (al nivel del mar). Las unidades están en el sistema internacional (SI).

## Anexo 8. Datos Técnicos de la Torre de Enfriamiento

CLIENTE	SOCIEDAD AGRÍCOLA VIRÚ S.A.			
	<b><u>Torre de Enfriamiento modelo "SICREA COOLPACK SR 1109/OU - 2T"</u></b>			
Pos. 1.0	<b><u>Datos Técnicos: TORRE DE ENFRIAMIENTO</u></b>			
1.1	<b><u>Datos de rendimiento:</u></b>			
	↗	Calor disipado	kCal/h 3 533 750	kW 4 109
	↗	Caudal de agua		m <sup>3</sup> /h 294.5
	↗	Temperatura de agua entrada		°C 40
	↗	Temperatura de agua salida		°C 28
	↗	Temperatura de bulbo húmedo (Preparada para el fenómeno del Niño)		°C 24
1.2	<b><u>Datos de operación:</u></b>			
	↗	Reposición de agua (sin purga continua)		m <sup>3</sup> /h 2.9
	↗	Tipo de tobera		STB 16
	↗	Presión hidráulica		bar 0.52
	Garantizamos los datos de acuerdo con "VDI cooling tower standard DIN 1947"			
1.3	<b><u>Datos del motor - ventilador:</u></b>			
	↗	Potencia del motor		4 x kW 7.5
	↗	Potencia absorbida por el ventilador		4 x kW 5.7
	↗	Velocidad del motor		4 x rpm 860
	↗	Velocidad del ventilador		4 x rpm 860
	↗	Voltaje		3 x V 420-460V.
		Frecuencia		Hz 60
		Protección: - del motor		IP 55
		- caja bornera		IP 55
1.4	<b><u>Dimensiones y pesos:</u></b>			
	↗	Largo		mm 4 800
	↗	Ancho		mm 2 400
	↗	Alto		mm 3 800
	↗	Peso neto		kg 3 500
	↗	Peso en operación		kg 16 500