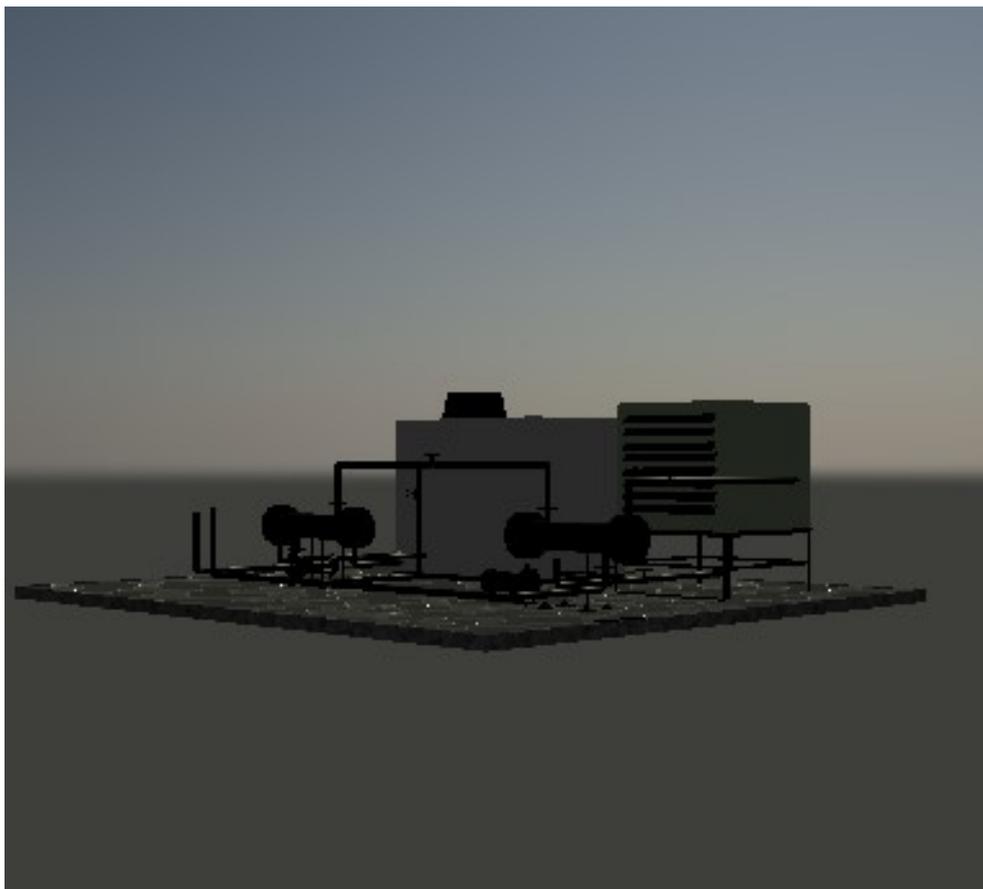


# PROYECTO FINAL

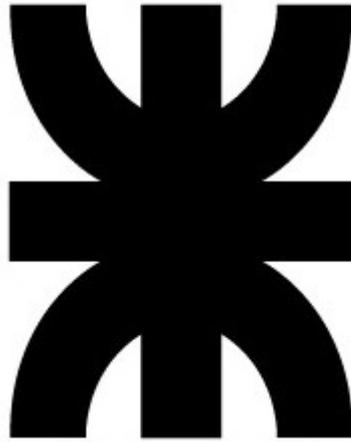
**ANÁLISIS DE INCORPORACIÓN DEL ENFRIAMIENTO  
EVAPORATIVO, COMO ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE  
ENERGÍA EN BODEGA TRASSOLES.**



**AUTOR: CHOCOBAR CRISTIAN DAVID EMANUEL**

**AÑO 2022**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**



**Facultad Regional la Rioja**

**ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO, UNA ALTERNATIVA DESTINADA AL AHORRO  
DE ENERGÍA EN EL ÁMBITO DE BODEGA TRASSOLES.**

**CHOCOBAR, Cristian David Emanuel**

La Rioja, 12 de Agosto de 2022

Ing. AEGERTER Claudio Julián, Profesor de la cátedra "Proyecto final" de la carrera "ingeniería electromecánica" de la Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional la Rioja

AUTORIZA:

Al señor CHOCOBAR, Cristian David Emanuel a presentar el proyecto final de carrera titulado:

**ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO, UNA ALTERNATIVA DESTINADA AL AHORRO DE ENERGÍA EN EL ÁMBITO DE BODEGA TRASSOLES.**

Manifiesta, en su calidad de profesor adjunto de la cátedra proyecto final del mismo, en cumplimiento de las normas vigentes en esta Universidad para la presentación del Proyecto final.

**Ing. AEGERTER, Claudio Julián.**

Proyecto de fin de carrera de ingeniería electromecánica de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Rioja presentado por:

CHOCOBAR, Cristian David Emanuel. –Legajo 30-3739

**Título del Proyecto:**

**ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO, UNA ALTERNATIVA DESTINADA AL AHORRO DE  
ENERGÍA EN EL ÁMBITO DE BODEGA TRASSOLES.**

Docentes de la cátedra:

- Ing. AEGERTER, Claudio Julián.
- Dra. Ing. ALITTA, Mónica.

Tutor del proyecto:

- Ing. ABDALA, Antonio Daniel.

Colaboradores:

- Ing. ROMERO, Rafael.

Dedicatoria:

*A mi familia por el apoyo incondicional en el transcurso de la carrera.*

Agradecimientos:

*Al ingeniero Abdala Antonio, cuyo docente quien me brindó apoyo, guía y motivación para el desarrollo del presente proyecto final.*

## Índice

1	Fundamentación del proyecto .....	13
1.1	Situación problemática .....	13
1.2	Objetivos generales.....	13
1.3	Objetivos específicos.....	13
1.4	Justificación .....	13
1.5	Solución propuesta.....	14
1.6	Alcance del proyecto.....	17
1.7	Asignaturas aplicadas.....	17
2	Procesos de elaboración del vino.....	19
2.1	Introducción .....	19
2.2	Breve descripción del proceso de elaboración del vino.....	19
2.2.1	Recepción de materia prima .....	20
2.2.2	Procesos mecánicos .....	20
2.2.3	Fermentación .....	21
2.3	Necesidades frigoríficas en la vendimia .....	21
3	Balance térmico.....	24
3.1	Introducción .....	24
3.2	Carga térmica del local.....	24
3.2.1	Cargas externas .....	25
3.2.2	Cargas internas.....	27
3.2.3	Ganancia de calor en los conductos.....	27

3.2.4	Ganancias de calor por renovaciones de aire .....	28
3.3	Resultados del balance térmico .....	28
4	Descripción de los equipos usados.....	30
4.1	Introducción .....	30
4.2	Unidades fan coils .....	31
4.2.1	Fundamentación teórica de las unidades fan coils .....	32
4.2.2	Criterio de selección.....	33
4.2.3	Selección de la unidad fan coil .....	33
4.3	Enfriador evaporativo .....	34
4.3.1	Rendimiento.....	34
4.3.2	Análisis del rendimiento.....	35
4.3.3	Clasificación.....	37
4.3.4	Variación en el rendimiento.....	39
4.3.5	Parámetros de selección de un equipo evaporativo.....	39
4.3.6	Selección del enfriador evaporativo .....	40
4.3.7	Bomba de circulación de agua .....	41
4.3.8	Agua de reposición.....	41
4.4	Equipo enfriador de agua.....	42
4.4.1	Fundamentación teórica .....	42
4.4.2	Principio de funcionamiento.....	42
4.4.3	Equipos de control.....	43

4.5	Configuración del equipo .....	44
4.5.1	Selección.....	46
5	Red de agua fría.....	47
5.1	Introducción .....	47
5.2	Descripción de la instalación .....	48
5.2.1	Red de distribución interna.....	49
5.2.2	Red de distribución externa .....	51
5.3	Diseño de la red de tuberías .....	52
5.4	Selección de la bomba.....	53
5.5	Regulación de caudal.....	54
6	Aislamiento.....	56
6.1	Introducción .....	56
6.2	Aislamiento térmico .....	56
6.3	Espesores mínimos de aislamiento térmico.....	56
6.4	Tipos de aislación .....	57
6.5	Criterio para la selección de la aislación .....	57
6.5.1	Selección del aislante .....	58
7	Intercambiadores de calor .....	59
7.1	Intercambiadores de tubos y coraza.....	60
7.1.1	Estándares TEMA.....	60
7.1.2	Tipos de intercambiadores.....	61
7.1.3	Componentes .....	62
7.1.4	Tipos de configuración de cabezales.....	63

7.1.5	Elección del fluido que circula por la coraza y tubos .....	65
7.1.6	Factor de incrustación .....	65
7.1.7	Diámetro y longitud de los tubos .....	66
7.1.8	Número de pasos por los tubos .....	67
7.1.9	Caudal másico.....	67
7.1.10	Viscosidad.....	68
7.1.11	Velocidad del fluido.....	68
7.1.12	Coefficientes de transferencia de calor.....	68
7.2	Elección de materiales .....	69
7.3	Diseño térmico .....	72
7.3.1	Intercambiador de calor del enfriamiento de agua .....	73
7.3.2	Intercambiador del enfriador evaporativo.....	77
7.4	Verificación mecánica .....	81
7.5	Montaje .....	82
7.5.1	Unión por soldadura.....	83
7.5.2	Soldadura de tubos y espejos.....	85
7.5.3	Unión del cuerpo al cabezal .....	86
8	Planificación .....	87
8.1	Introducción .....	87
8.2	Definición de mano de obra y costos.....	87
8.3	Pedidos .....	88
8.4	Construcción.....	88

8.4.1	Losa de apoyo.....	88
8.4.2	Soportes de equipos.....	88
8.4.3	Red de agua.....	89
8.4.4	Construcción de los intercambiadores.....	90
8.5	Transporte.....	93
8.6	Instalación de equipos.....	94
8.6.1	Unidades fan coils .....	95
8.6.2	Enfriador de agua.....	95
8.7	Enfriador evaporativo .....	96
8.7.1	Instalación del intercambiadores.....	96
8.7.2	Consideraciones sobre el montaje.....	97
9	Análisis económico.....	99
9.1	Introducción.....	99
9.2	Costo de materiales.....	99
9.2.1	Intercambiadores.....	99
9.2.2	Red de tuberías .....	101
9.2.3	Red eléctrica.....	102
9.3	Costo de equipos.....	102
9.3.1	Unidades fan coils .....	102
9.3.2	Equipo de enfriamiento de agua.....	102
9.4	Costos de los soportes.....	102
9.5	Costo de mano de obra.....	103

9.6	Costo de construcción de los Intercambiadores.....	103
9.7	Alquiler de herramientas manuales y de construcción.....	104
9.8	Transporte.....	105
9.9	Análisis de costos .....	105
10	Tiempos de ejecución del proyecto .....	107
10.1	Tiempos planificados para la ejecución del proyecto .....	107
10.1.1	Pedidos de materiales.....	107
10.1.2	Construcción.....	108
10.1.3	Transporte.....	109
10.1.4	Instalación .....	109
10.1.5	Prueba hidráulica .....	109
10.2	Puesta en servicio.....	110
10.3	Ruta crítica de actividades .....	110
10.4	Cronograma de desembolso de obra.....	111
11	Balance energético.....	112
11.1	Energía consumida .....	112
12	Evaluación de impacto ambiental .....	116
12.1	Introducción .....	116
12.2	Objetivos de la evaluación de impacto ambiental .....	116
12.3	Descripción del proyecto.....	116
12.4	Marco legal.....	117
12.5	Descripción del lugar de trabajo .....	118
12.6	Área de influencia .....	118

12.7	Análisis de los impactos .....	118
12.7.1	Generación de residuos.....	118
12.7.2	Impacto sobre la atmosfera .....	119
12.7.3	Impacto sobre el agua .....	120
12.7.4	Consumo de agua.....	120
12.7.5	Ruido .....	120
12.7.6	Consumo eléctrico.....	121
12.8	Diagrama causa efecto .....	122
12.9	Conclusión .....	123
13	Conclusiones.....	124
14	Memoria de cálculos .....	125
14.1	Carga térmica .....	125
14.2	Selección de las unidades fan coils .....	131
14.3	Potencia frigorífica del enfriador evaporativo .....	132
14.4	Diseño de la red de tuberías .....	132
14.5	Aislación .....	136
14.6	Caudal de la bomba para el enfriador evaporativo.....	139
14.7	Selección de la bomba.....	140
14.8	Cálculo de los intercambiadores .....	140
14.8.1	Intercambiador del equipo de agua .....	141
14.8.2	Intercambiador de la unidad evaporativa .....	146
15	Bibliografía .....	167



## **1 Fundamentación del proyecto**

### **1.1 Situación problemática**

La producción de vinos de calidad requiere una serie de etapas que involucran la transformación de energía eléctrica en: mecánica, lumínica, térmica entre otras. De todas ellas la que más erogaciones económicas ocasiona es la transformación de energía eléctrica en térmica.

Los procesos térmicos, están relacionados con producción de agua fría, en equipos frigoríficos por compresión de gas refrigerante. Estos módulos son imprescindibles para el proceso, pero debido a los costos cada vez más crecientes de la energía eléctrica, resulta necesario buscar alternativas tendientes a reducir las erogaciones sin perder la calidad del producto.

### **1.2 Objetivos generales**

Diseñar dos intercambiadores de calor, del tipo tubo y coraza, agua-agua, para usar enfriadores evaporativos directos como medio para el ahorro energético.

Evaluar de manera analítica, el funcionamiento de esta mejora mediante comparación de consumos de energía con el enfriador actualmente instalado.

### **1.3 Objetivos específicos**

Diseño y selección de un sistema de refrigeración por unidades Fan coils.

Diseño y planificación para la construcción de dos intercambiador de tubo y coraza.

Evaluación del enfriador evaporativo como alternativa destinada al ahorro energético.

### **1.4 Justificación**

Debido a los altos costos de la producción de agua fría en la bodega Trassoles, resulta imperioso hallar alternativas para reducir el consumo eléctrico y los costos de operación de los equipos encargados de producirla. El enfriamiento evaporativo es una de estas alternativas, ya que se adapta a las condiciones climatológicas de la zona. Sin embargo, los requerimientos de

humedad para los procesos de producción de vino deben ser controlados, como consecuencia el enfriamiento debe ser del tipo indirecto.

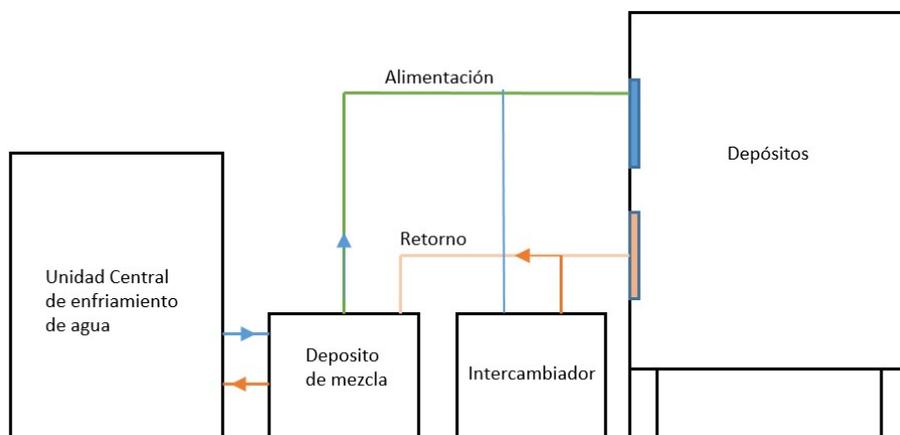
Estos tipo de enfriadores indirectos no se encuentran disponibles en el mercado, tampoco se dispone de diseños y/o empresas dedicadas a su construcción, por estas razones no es posible adquirirlos fácilmente, por lo tanto debe realizarse el proyecto de diseño y construcción, como así también la planificación y adecuación de las instalaciones existentes destinadas al enfriamiento de agua en Bodega Trassoles. Los resultados de este diseño, permiten evaluar el rendimiento de la instalación en su totalidad, incluyendo la instalación del enfriador y los costos de asociados a esta alternativa.

### 1.5 Solución propuesta

Una instalación de frío convencional para una bodega se muestra en la figura 1. Los tanques de fermentación son alimentados por una red de agua, que mantienen las condiciones de fermentación y conserva del vino dentro del depósito.

**Figura 1**

*Instalación convencional de enfriamiento, usada en vitivinicultura.*



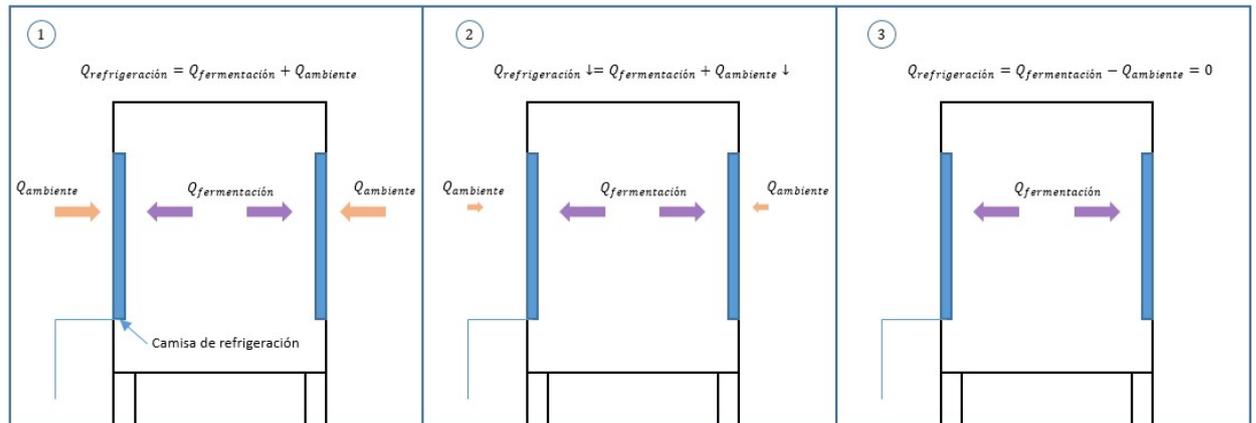
*Fuente:* Elaboración propia.

El agua fría proviene de la unidad de enfriamiento, instalada en el exterior de la bodega. Este equipo funciona durante todo el año, pero el periodo más crítico es el de la vendimia.

En la época de vendimia los requerimientos de frío aumentan debido a la elevación de la temperatura exterior y a los procesos de elaboración del vino, que requieren mayor caudal de agua fría. Como consecuencia el equipo encargado de producirla aumenta el consumo eléctrico,

generando costos muy elevados de energía eléctrica. Debido a esta situación, es necesario encontrar una forma más eficiente para generar agua fría.

**Figura 2**  
*Transferencia de calor, entre los depósitos y el local*



Fuente: Elaboración propia.

En este trabajo, se desarrollan dos posibles soluciones para este problema.

- Disminuir la diferencia de temperaturas entre el ambiente y la superficie del tanque, reduciendo la transferencia de calor al mínimo (2).
- Disminuir la temperatura del local hasta un valor igual a la temperatura de la camisa de refrigeración, de manera que toda la carga de fermentación sea disipada por la temperatura ambiente (3).

Estas dos soluciones implican la incorporación de elementos externos al sistema convencional, que adecuen la temperatura del local a refrigerar sin modificar las condiciones de guarda de los vinos.

Las unidades fan coils serán las adecuadas para esta función. Estos equipos se alimentan con agua fría para lograr el salto térmico y realizar la extracción de calor del interior del local. Actualmente en la bodega no existe un sistema adecuado para distribuirla por esta razón es necesario proyectar una instalación de alimentación y retorno de agua para estos equipos (Sección 5).

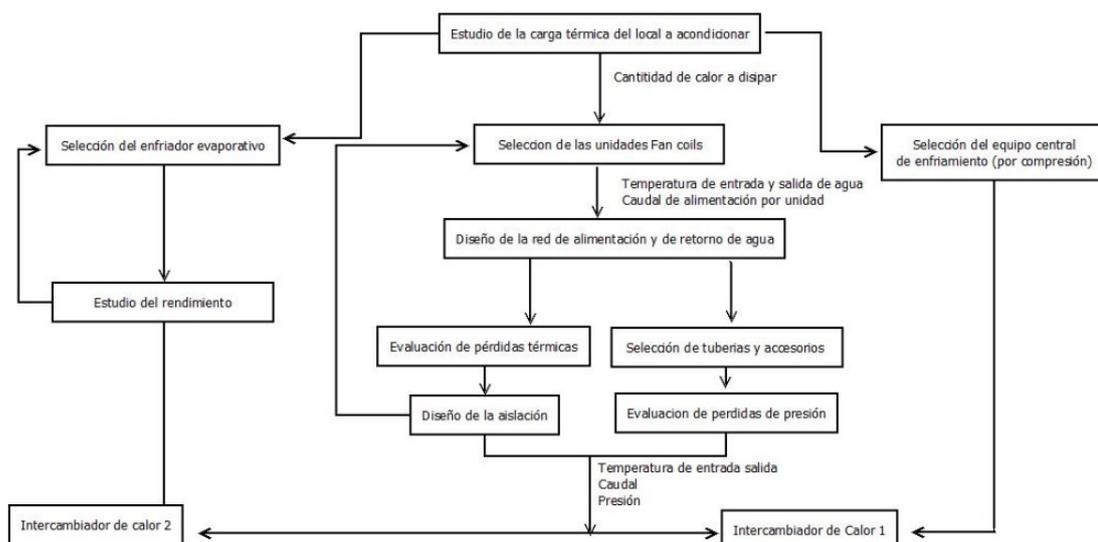
Al equipo enfriador de agua actualmente instalado se le incorporará un enfriador evaporativo cuya función será tomar parcialmente la carga térmica a refrigerar, cuando las condiciones ambientales lo permitan (sección 4.3).

El enfriador evaporativo permite reducir el costo de la energía eléctrica en un 50% mediante el aporte de aire frío y agua fría. Sin embargo, el funcionamiento de esta unidad depende de las condiciones ambientales, disminuyendo su rendimiento cuando la humedad relativa es muy alta y como consecuencia no puede dependerse exclusivamente del enfriador evaporativo, como medio de refrigeración.

El agua fría producida en el enfriador evaporativo circulará por medio de un intercambiador de calor de tubo y coraza extrayendo la carga generada en el ambiente interior y la llevándola al enfriador evaporativo. Existirá entonces una diferencia de temperatura, entre el ambiente y los tanques que deberá disminuirse para disminuir potencia frigorífica del equipo central. Aplicando el enfriamiento evaporativo se logrará disminuir los costos de operación.

El proceso de diseño de los intercambiadores de calor es complejo y requiere variables que dependen de la selección de otros equipos. El siguiente diagrama muestra un resumen del proceso de diseño:

**Figura 3** Resumen del proceso de diseño.



En la parte superior de este diagrama se encuentra el estudio de la carga térmica, con su cálculo es posible determinar la cantidad de calor que hay que extraer del local de almacenamiento y producción del vino (sección 3.3). Los resultados de este estudio permiten:

- Selección del enfriador evaporativo.
- Selección de las unidades fan coils.

Una vez seleccionados estos equipos, es posible diseñar la red de transporte de agua y obtener los caudales y las presiones usadas para el dimensionamiento de los intercambiadores de calor (Sección 7.2).

### **1.6 Alcance del proyecto**

- El presente proyecto incluye el diseño, selección, planificación de obra y evaluación costos para instalar un sistema de refrigeración, del tipo aire-agua con unidades fan coils en la bodega Trassoles, con el fin de extraer la carga térmica generada por las condiciones ambientales y las tareas que implican aumento de la temperatura el local.
- Diseñar una red de tuberías que distribuyan agua a las unidades fan coil, desde dos intercambiadores de calor para aprovechar el salto térmico generado por los enfriadores de agua en el exterior.
- Realizar una evaluación económica y energética que fundamente esta mejora.

### **1.7 Asignaturas aplicadas**

El siguiente proyecto involucra las siguientes áreas con sus respectivas asignaturas de la carrera ingeniería electromecánica:

#### **Básicas:**

Física.

Química.

#### **Mecánica:**

Conocimiento de materiales.

Máquinas y equipos industriales.

#### **Fluido y calor:**

Termodinámica técnica.

Mecánica de los Fluidos y maquinas fluido dinámicas.

Maquinas térmicas.

Instalaciones térmicas Mecánicas y frigoríficas.

Y como fundamentos teóricos asociados a:

Ingeniería química.

## 2 Procesos de elaboración del vino

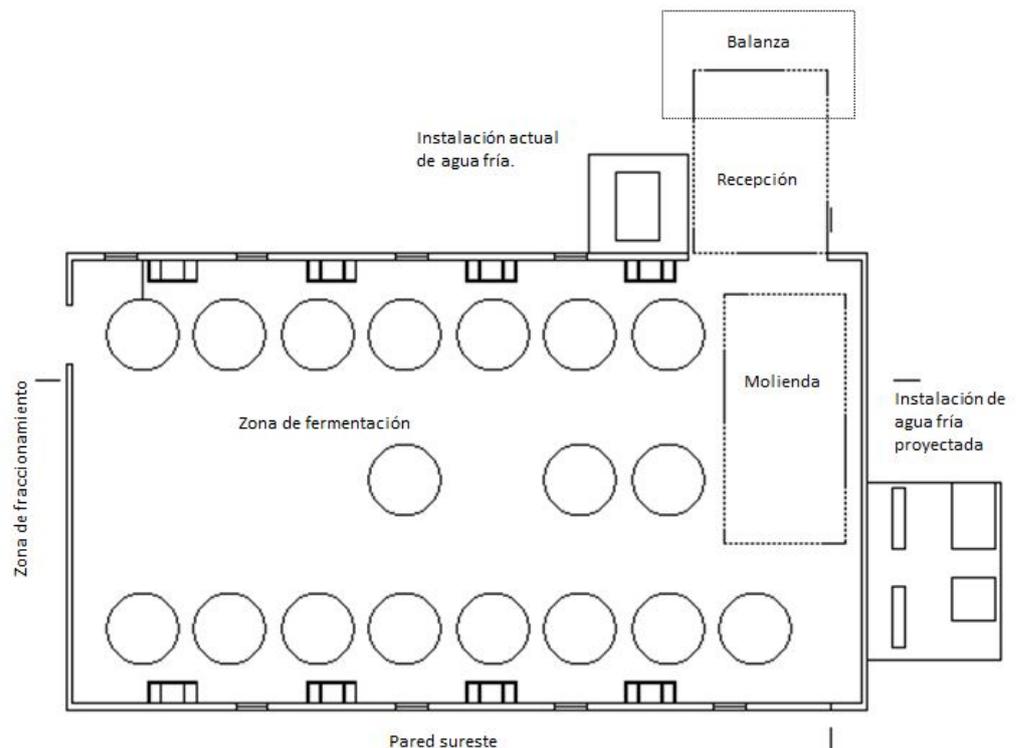
### 2.1 Introducción

Para realizar un dimensionamiento correcto de la instalación es necesario describir los procesos que se llevan a cabo en el local a acondicionar. Es así, que en esta sección se definen los procesos y condiciones más importantes para obtener un vino de calidad.

Estos conceptos también serán útiles en las secciones siguientes, en donde se requiere ubicar los equipos para lograr la extracción carga térmica descrita en la sección 3.

#### Gráfico 1

*Sectorización de procesos en bodega Trassoles.*



### 2.2 Breve descripción del proceso de elaboración del vino

En este proyecto, es importante identificar cada etapa de producción del vino con el fin de conocer los procesos críticos que pueden ser afectados con la incorporación del

enfriador evaporativo. Además permite planificar la correcta ubicación de los equipos encargados de extraer la carga térmica del local.

El proceso de elaboración del vino consta de los siguientes pasos:

- Recepción de materia prima.
- Procesos mecánicos.
- Fermentación.

### **2.2.1 Recepción de materia prima**

El proceso de elaboración del vino comienza con la vendimia que consiste en la recolección y posterior traslado de la uva a la bodega. Se realiza en los meses de enero, febrero y marzo. Los racimos de uva, una vez recolectados, son trasladados a la zona de recepción de la bodega, donde se pesan en una báscula tipo plataforma, instalada a nivel del suelo que ocupa una superficie de aproximadamente 8 m<sup>2</sup>.

A continuación los racimos de uva se descargan sobre una tolva, que los envía a una cinta transportadora. Este proceso permite controlar la calidad del racimo, para evitar perder la calidad en el producto final.

### **2.2.2 Procesos mecánicos**

Los racimos de uva seleccionados ingresan a la despalladora, cuya función es separar los escobajos (estructura leñosa del racimo) de los granos. Este proceso reduce el volumen de uva a prensar, mejora la calidad del producto final y aumenta la graduación alcohólica.

El escobajo es retirado de forma manual de la despalladora, que por acción de la gravedad cae en un depósito lateral. Un operario se encarga de trasladar los granos de uva hacia la prensa neumática en donde son estrujados; como resultado se obtiene el mosto y el orujo. El mosto es extraído por el eje de la prensa y transportado por una bomba a un enfriador del tipo concéntrico, por medio de un sistema de mangueras flexibles.

En el enfriador concéntrico se produce un descenso rápido de la temperatura del mosto que evita procesos de fermentación anticipados. Una vez terminada esta etapa, el mosto se trasvasa a un depósito de acumulación, mediante una bomba de paletas. Una

segunda bomba impulsa el mosto a unos tanques de acero inoxidable con capacidad de 5000 litros donde se producen las etapas de maceración y fermentación.

### **2.2.3 Fermentación**

La fermentación consiste transformar el azúcar natural del mosto en alcohol. Dependiendo del tipo de cepa y de la calidad del producto, es el tratamiento que se le dará al vino. Se realiza en depósitos de acero inoxidable que tienen una forma circular, con una tapa superior y una tapa frontal. Por medio de la superior se efectúa el llenado y el remontaje del mosto.

La fermentación es controlada por temperatura, por esta razón los tanques tienen una camisa de refrigeración colocada en la zona media de los mismos que ocupan del 20 al 30% de la superficie. Por la camisa circula agua fría que mantiene la temperatura del vino, durante los procesos de fermentación y de estabilización. La temperatura es censada con un tubo que contiene una termocuplas pt 100, colocada lo más próxima al centro del cilindro.

### **Conducción del mosto o vino**

Durante las operaciones de producción se necesita mover el vino o mosto de un recipiente a otro. Esta manipulación es conocida como trasvase del vino y se realiza mediante tubos flexibles y bombas adecuadas para la operación de alimentos. La velocidad del líquido está comprendida entre 0,7 y 1,5 m/s.

### **2.3 Necesidades frigoríficas en la vendimia**

Para conocer las necesidades energéticas y luego realizar una comparación con el sistema a instalar es inevitable identificar los procesos que requieren frío en la bodega. Debido a que estos, varían durante un año, el análisis se realizará en dos periodos:

- En los meses de vendimia (enero, febrero y marzo).
- El resto del año.

### **Necesidades frigoríficas en la vendimia**

El proceso de enfriamiento se inicia en un intercambiador concéntrico de varios pasos. Su función es extraer el calor del mosto de prensa, para evitar la posible fermentación en esta etapa. Los intercambiadores de este tipo están contruidos por:

Un conjunto de tubos conectados, por cuyo interior transcurre el producto a refrigerar y exteriormente en sentido contrario circula el refrigerante que puede ser agua o agua glicolada, proveniente de la instalación de refrigeración de la bodega, con ello se consigue una rápida refrigeración del producto. (Frimont, 2022)

El agua fría ingresa al tubo a 5 °C y sale aproximadamente a una temperatura de 12 °C. La temperatura del mosto a la entrada es de alrededor de 28 °C y sale del intercambiador a una temperatura aproximada de 20 °C. El funcionamiento es continuo y envía el mosto a los tanques de fermentación.

El paso siguiente es el proceso de maceración, donde se extraen los aromas del vino antes de la fermentación y durante su transcurso, debe mantenerse una temperatura de alrededor de 15°C. La velocidad de la fermentación es controlada por la temperatura, si necesita reducirla se aumenta el caudal del agua en la camisa, llegando a valores de entre 7 y 12°C. Estos procesos son continuos y mantenidos de 4 a 5 días.

En la fermentación las temperaturas generalmente se encuentran en un rango de 7 a 12 °C. El enólogo determina de acuerdo al grado alcohólico la cantidad de frío y la permanencia del vino en estos depósitos. Para mejorar el proceso de filtración y realizar un precipitado de materia colorante, se efectúa la estabilización anaeróbica y coloidal. La temperatura en este proceso debe mantenerse a en el rango de 10 a 15 °C.

Una vez terminadas las etapas descriptas, el vino debe conservarse en los tanques o pasar a un fraccionamiento para una segunda fermentación en la botella. Para cualquiera de los casos la temperatura debe mantenerse en un rango de 15 a 18 °C.

### **Necesidades de refrigeración terminada la vendimia**

Una vez terminada la producción del vino, debe controlarse su temperatura para evitar el desarrollo de microorganismos indeseables y procesos de fermentación no requeridos. Durante esta etapa el vino se almacena en los depósitos, controlando que su temperatura se encuentre entre los 18 y 20°C.

**Figura 4**

*Tanques de fermentación en la bodega Trassoles*



La refrigeración para espacios de fermentación y cava:

Requiere de conceptos y equipos totalmente diferentes a los usados en aire acondicionado; mientras que estos buscan una situación de confort humano (con temperaturas superiores a los 20°C, baja humedad y bajo nivel sonoro), para las cavas de barricas la premisa fundamental es evitar las mermas de vinos por evaporación. (Frimont, 2022).

### 3 Balance térmico

#### 3.1 Introducción

En la sección anterior se describieron los procesos de producción, que se desarrollan en el interior de la bodega. En esta sección se plantean los fundamentos teóricos para la evaluación del balance térmico en el interior de local y finalmente se concluye con la cantidad de calor necesaria a extraer.

#### 3.2 Carga térmica del local

Antes de comenzar con la selección de equipos es necesario conocer la cantidad de calor a extraer en la bodega.

Debido a los procesos antes descritos, los tanques de fermentación se comportan como pequeños aires acondicionados, que absorben una cantidad determinada de calor del local y la transfieren al equipo de enfriamiento de agua. La transferencia se realiza en las superficies de los tanques (debido a su alta conductividad térmica) y producen el descenso de la temperatura de todo el local de fermentación.

Si la aislación no es lo suficientemente eficiente el equilibrio térmico no se alcanza y el equipo encargado de enfriar el agua trabaja sobrecargado. Por esta razón se analiza las ganancias de calor de acuerdo a la fuente que lo origina:

- Fuentes externas: Se origina por el flujo de calor sensible proveniente del exterior debido a la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior del local de fermentación.
- Fuentes internas: Provenientes de personas, iluminación y otras fuentes.
- Aire exterior: Dentro del local debe haber ciertas renovaciones de aire. Generalmente se usa la velocidad del aire para calcular la ganancia de calor de  $1.5 \text{ m/s}$  (Rejo, 2008, pág. 311). La transferencia de calor se realiza por convección entre la superficie del tanque y el aire que lo rodea.

La evaluación de la carga térmica se realizará para un día promedio de producción en la época de vendimia. En estos meses la variación diaria de temperatura es más pronunciada

que en invierno, en la región se llegan a alcanzar picos de 37 °C (Instituto nacional de tecnología agropecuaria, 2022), con una humedad relativa de un 20%. En invierno las temperaturas se mantienen en alrededor de los 17 °C (Instituto nacional de tecnología agropecuaria, 2022), por lo que la mayoría de las veces el sistema central de refrigeración de agua se mantiene sobredimensionado.

En los meses de enero, febrero y marzo la ganancia de calor es distinta de acuerdo al horario. Para los cálculos, se estima que la condición más desfavorable sucede en el intervalo de 15:00 a 16:00 hs.

### 3.2.1 Cargas externas

Las cargas térmica externas se producen por la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior de la zona de fermentación. Estas generan una ganancia de calor que debe ser estudiada.

**Figura 5**  
*Bodega Trassoles*



Los factores que intervienen en la ganancia de calor son:

- Materiales de construcción de la paredes y techo.
- Orientación y latitud del lugar.
- Día y hora que se realiza el estudio.
- Color y característica de la superficie expuesta.
- Ubicación de edificios próximos en cuanto al reflejo y sombras que proyectan.
- Coeficiente de retardo.

La transmisión de calor por conducción en el techo y las paredes depende de los materiales usados en la construcción. En el caso de la bodega es ladrillo macizo cuyo valor de resistencia térmica es de  $2.3 \text{ kcal}/\text{hm}^2\text{°C}$  (Quadri, 1987, pág. 28). El techo es de chapa, con una cámara de aire de 2 metros. Las paredes: noreste, sureste, suroeste, son paredes exteriores y reciben el impacto directo del sol.

**Figura 6**  
*Orientación de la bodega*



La pared noroeste es interior y divide el local de fermentación con la zona de fraccionamiento. Al no recibir directamente el impacto de la radiación solar, deberá analizarse de forma distinta. La temperatura de la zona de fraccionamiento se mantiene en  $21\text{°C}$ . El material de construcción de la pared es el mismo que las paredes exteriores.

El local de fermentación tiene ventanas ubicadas sobre los tanques de fermentación. En el plano 3.02, se muestra la distribución de las mismas. El aporte de calor por radiación, requiere del coeficiente de transferencia de calor, cuyo valor es de  $5 \text{ kcal}/\text{hm}^2\text{°C}$  (Quadri, 1987, pág. 87). El área de las ventanas, suma en total una superficie de  $2 \text{ m}^2$ .

La cantidad de calor que se adquiere por el efecto invernadero depende de la hora del día. El calor que penetra por el efecto solar se analizará en la sección 14.1, el valor es función del coeficiente de radiación solar que se obtiene de la tabla 24 con dependencia de la latitud, orientación, y hora del día.

### **3.2.2 Cargas internas**

Las cargas térmicas internas se deben a los aportes de calor por los procesos de producción del vino y las personas que trabajan en el local en las horas de estudio.

En el periodo más crítico (en un día de verano a de 15 a 16 horas) la cantidad de personas es de diez. El aporte de calor sensible, depende del grado de actividad física. Para evitar un desarrollo extenso de este tema, se estima que todas las personas se encuentran realizando un trabajo pesado.

Otra carga térmica a considerar es el aporte de calor por distintas máquinas. En la época de vendimia, funciona la prensa neumática (1.49 kW) y una bomba de (0,9 kW), cuyo funcionamiento se supondrán constantes y únicos durante horas de producción.

### **3.2.3 Ganancia de calor en los conductos**

Para transportar el agua fría hasta los puntos de conexión de las camisas de refrigeración se utiliza un sistema de cañerías. Las mismas absorben calor del medio (externo ambiental, o interno de la sala de fermentación) intercambiándolo con el fluido el agua que circula por las tuberías. “La ganancia de calor sensible por conductos depende del grado de aislamiento de los mismos y de la envergadura de la instalación” (Quadri, 1987, pág. 104).

La red de distribución de agua fría en la bodega tiene dos tramos:

- Interior: Las tuberías se encuentran en el interior del local de fermentación y el gradiente de temperatura es bajo.
- Externo: Las tuberías se encuentran expuestas a las condiciones ambientales, con un gradiente de temperatura relativamente alto. Se realizarán los estudios para evaluar la aislación de este tramo en la sección 14.5.

El resultado de este análisis expone una ganancia de calor mínima que se considera nula para el balance térmico (cañerías perfectamente aisladas).

### 3.2.4 Ganancias de calor por renovaciones de aire

Durante la producción del vino, la vendimia ingresa por un portón ubicado en la pared noreste. Es inevitable mantener el portón cerrado debido a que los racimos ingresan por la cinta transportadora y pasan a la molienda por esta abertura.

Con la formula siguiente y asimilando la velocidad de viento constante, con un valor de 3m/s puede calcularse la cantidad de calor que ingresa al local de fermentación.

$$Q_{le} = c_{lv} G_h (h_e - h_i)$$

$$Q_{se} = 17 c_a (t_e - t_i)$$

Siendo  $Q_{le}$  y  $Q_{se}$ , el calor latente y el calor sensible respectivamente;  $c_{lv}$  es el calor latente de vaporización,  $G$  es el gasto horario,  $(h_e - h_i)$  la diferencia de entalpia entre el aire interno y el aire externo,  $(t_e - t_i)$  la diferencia de temperaturas. Los resultados de los cálculos (sección 12.1), demuestran que es inviable refrigerar el local con tal abertura. Se propone como solución mantener el portón cerrado y hacer una sección para el ingreso del producto.

Con esta propuesta la cantidad de calor se computa mediante el método de renovaciones, con un caudal de aire igual a 0,5  $m^3/s$  (Rejo, 2008, pág. 310).

### 3.3 Resultados del balance térmico

Aplicando el método de balance térmico en la bodega Trassoles, los resultados de la carga térmica con las condiciones del apartado 3.2 son:

Calor aportado por la pared noreste: 4242  $kcal/h$

Calor aportado por pared suroeste: 2581  $kcal/h$

Calor aportado por la pared noroeste: 1849  $kcal/h$

Calor de pared interior: 753  $kcal/h$

Calor aportado por techo: 14489  $kcal/h$

Calor aportado por ventanas:  $131,25 \text{ kcal/h}$ .

Calor aportado por el portón (cerrado):  $9800 \text{ kcal/h}$

Calor aportado por las maquinas:  $6706 \text{ kcal/h}$

Calor sensible aportado por las personas:  $800 \text{ kcal/h}$

Calor latente aportado por las personas:  $1600 \text{ kcal/h}$

Calor sensible por renovaciones de aire (con corrección):  $735 \text{ kcal/h}$

La suma de todos estos factores, es la cantidad de calor total, que se usara como punto de partida para el cálculo del sistema de refrigeración por fan coils.

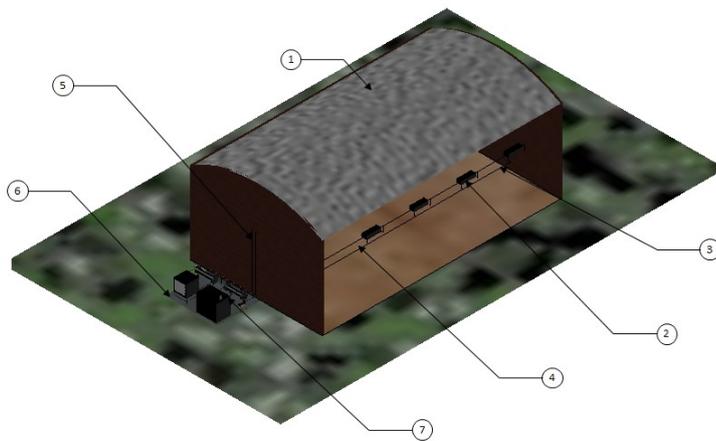
Cantidad de calor sensible total:  $43686 \text{ kcal/h}$

## 4 Descripción de los equipos usados

### 4.1 Introducción

Para extraer la carga térmica del local y mantener los parámetros psicrométricos dentro del rango de conserva, se procederá a diseñar una instalación con equipos de extracción de calor del tipo fan coils.

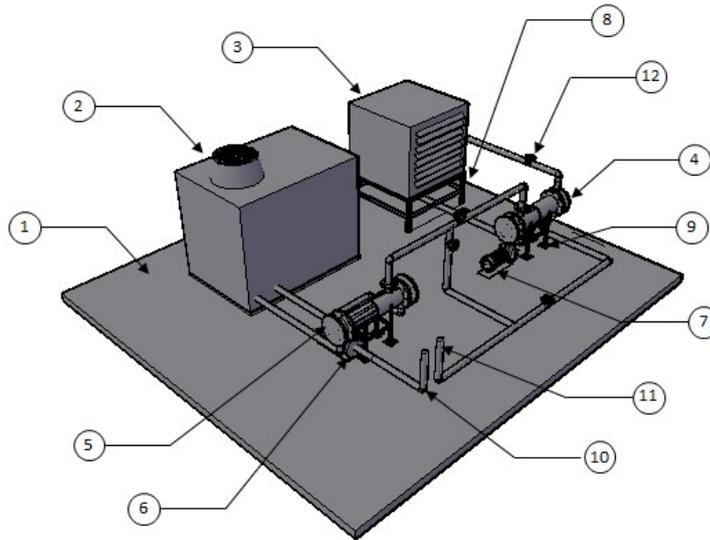
**Figura 7**  
*Representación del local a acondicionar*



Las unidades fan coils, se alimentan de agua fría por medio de cañerías instaladas en la pared o techo del local a acondicionar. El circuito de agua es cerrado con recirculación por bombas centrífugas y regulados por elementos de control de caudal.

La figura 7 expone una representación del local de fermentación, donde se muestran las unidades fan coils(1), que se alimentan de agua por medio de la tubería (5) y el retorno se produce por (7). El tramo secundario, permite el retorno de agua por la tubería (4) y la alimentación por (3). Los equipos externos(6) se apoyan sobre la base de hormigón (7).

**Figura 8**  
*Equipos exteriores*



La figura 8 muestra los detalles de la configuración proyectada en el exterior de la bodega. El enfriador de agua (2) se instalará en proximidades de enfriador evaporativo (3) y de sus intercambiador de calor de tubo y coraza (4 y 5). El agua circulará impulsada por una bomba centrífuga (6) y una bomba de circulación de agua para la alimentación de las unidades fancoil (7). Los intercambiadores se encuentran montados sobre soportes (8,9) y se conectan a las tuberías de retorno de agua (10) y a la alimentación (11). El flujo de agua del enfriador evaporativo se regula con la válvula (12).

El objetivo de esta sección es describir los parámetros los equipos mostrados en las figuras anteriores y seleccionarlos para lograr extraer la carga térmica, computada en la sección 3.3.

#### **4.2 Unidades fan coils**

Se pueden usar distintos tipos de elementos para evitar la transferencia de calor ente la superficie de los tanques y el ambiente interior del local de fermentación. Entre ellos podemos encontrar a las unidades fan coils, que son simples intercambiadores de calor, del tipo aire agua. Estos equipos presentan la ventaja de ser adaptables a distintos rangos de temperatura (según la elección de la unidad de agua fría) y además requieren poco mantenimiento.

A continuación se presenta un resumen del principio de funcionamiento y componentes de las unidad fan coil.

#### **4.2.1 Fundamentación teórica de las unidades fan coils**

El fan coil es un aparato que recibe su nombre del inglés: fan (ventilador) y coil (batería). Es un intercambiador de calor del tipo aire agua, donde el fluido (agua) circula por el interior de unos tubos y cuyo exterior se encuentra en contacto con la corriente de aire a refrigerar. El intercambio de calor se produce en la superficie exterior de los tubos por medio del fenómeno de convección.

Según la cantidad de tubos se pueden clasificar en:

- Fan coil de dos tubos: Son usados en instalaciones donde se requiere frío o calor. Presentan ventajas de costo y mantenimiento con respecto a los fan coils de cuatro tubos.
- Fan coil de cuatro tubos: se utilizan cuando la alimentación de agua fría proviene de un equipo de refrigeración y el agua caliente proviene de una caldera. Son especialmente usados en lugares donde se requiere frío y calor en distintos ambientes (por ejemplo edificios).

Según la ubicación, se pueden clasificar en:

- De pared: Se montan sobre la pared próximos al nivel del suelo y toman el aire caliente por su parte inferior, llevando al aire frío por su parte superior. Estos equipos generalmente son usados en viviendas y pequeños locales.
- De techo: Se colocan empotrados en la pared, techos o falsos techos. Toman aire por su parte inferior y lo expulsan por una abertura lateral.
- De casete: Se colocan en falsos techos o a la vista. Toman y expulsan aire por dos aberturas inferiores.
- De conductos: Su uso está generalizado para grandes espacios y su instalación requiere el uso de redes de cañería de aire.

#### 4.2.2 Criterio de selección

Para este proyecto la carga térmica calculada en la sección 3.7 es de  $46448 \text{ kcal/h}$ . Se usarán unidades de doble tubo ubicadas sobre la pared. Para reforzar el anclaje se ensamblarán sobre soportes contruidos en hierro ángulo cuyas especificaciones técnicas se encuentran en el plano de construcción 3.01.

El rango de temperaturas de trabajo es de 9 a  $16^{\circ}\text{C}$ . Los fan coils se ubicarán distribuidos equidistantes en la paredes suroeste y noreste. El caudal de aire, será superior a  $700 \text{ m}^3/\text{h}^1$ .

Los niveles de ruido no serán un factor limitante para la selección y la unidad deberá ser ubicada lo más alejada del techo, pero sin interferir con la abertura de la tapa superior del tanque de fermentación.

#### 4.2.3 Selección de la unidad fan coil

Los proveedores de la región ofrecen variedad de modelos, sin embargo para cubrir el cronograma de este proyecto, se seleccionan unidades Carrier b42 36 k. Las características técnicas de esta unidad se muestran en la tabla siguiente:

**Tabla 1**  
*Características de la unidad fan coil Carrier B42*

		30k		36k		44k		55k	
		STD	AE	STD	AE	STD	AE	STD	AE
Caudal de aire ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	$\text{m}^3/\text{h}$	1291	1291	1461	1461	1631	1631	2226	2226
	CFM	760	760	860	860	960	960	1310	1310
Calor Enfriamiento	kcal/h	6750	8325	8445	9905	10420	11680	12830	14705
	Btu/h	26768	33014	33490	39280	41323	46319	50880	58316
Calor Sensible	kcal/h	5130	5964	6275	7005	7565	8200	9600	10560
	Btu/h	20344	23651	24885	27780	30001	32519	38071	41878
Caudal de agua	l/s	0,38	0,47	0,49	0,57	0,59	0,66	0,72	0,83
	$\text{m}^3/\text{h}$	1,4	1,7	1,7	2,0	2,1	2,4	2,6	3,0
Pérdida de Carga	KPa	28,9	56,3	43,3	41,7	43,3	42,0	62,0	63,0
	mCA	2,9	5,7	4,4	4,3	4,4	4,3	6,3	6,4
Calentamiento	kcal/h	7905	8900	9985	10748	11380	13002	14860	15930
	Btu/h	31349	35295	39598	42623	45130	51562	58930	63174
Pérdida de Carga (agua)	KPa	24,60	46,70	37,50	34,60	36,20	35,39	53,00	52,70
	mCA	2,5	4,8	3,8	3,5	3,7	3,6	5,4	5,4
Peso	kg	32,5	34,6	32,5	34,6	46,7	50,2	46,7	50,3
Dimensiones: AlturaxAnchuraxProfundidad	mm	273 x 1246 x 424				273 x 1626 x 424			
Alimentación Eléctrica		220V - 1ph - 50/60hz				o 115V - 1ph - 60hz (hasta 36000 Btu/h)			

STD = Standard  
AE = Alta Eficiencia

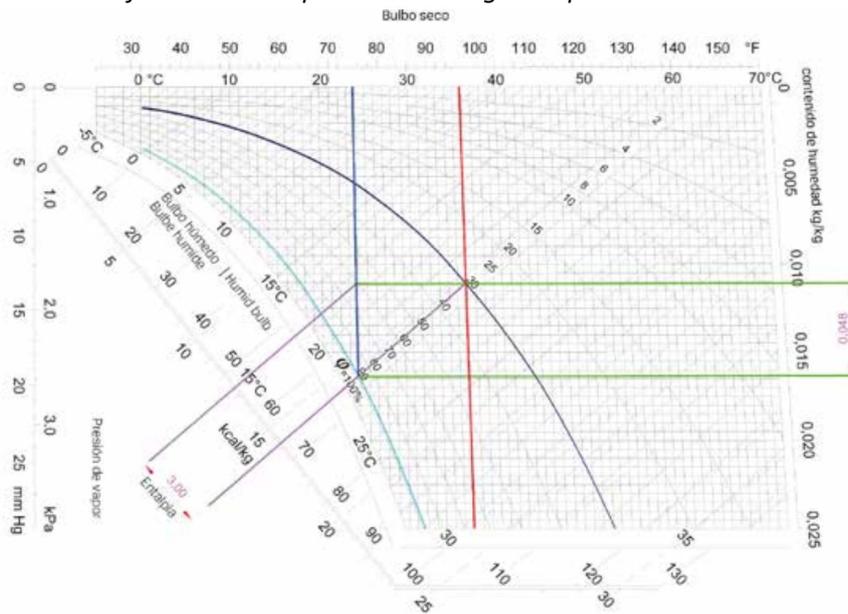
Nota: Tomado de Catalogo técnico (p.10), Carrier

<sup>1</sup> Establecido por el fabricante.

### 4.3 Enfriador evaporativo

El enfriador evaporativo utiliza los conceptos teóricos del enfriamiento adiabático que “es la transformación calor latente en calor sensible sin utilizar ninguna fuente de energía ajena a la sustancia” (Calor y frio, 2022). Es decir, no requiere energía externa para llevar a cabo un cambio en la temperatura del aire.

**Figura 9**  
Representación del enfriamiento evaporativo en diagrama psicrométrico.



Nota: Tomado Tarifa Marzo (p.10), Met man; 2016.

La cantidad de energía que puede extraerse del aire se computa por el calor sensible que es convertido en calor latente. En la figura 9 se observa la representación de un proceso adiabático, en el, la temperatura del aire disminuye a medida que la cantidad de humedad relativa aumenta. El aire que alimenta el enfriador evaporativo aporta la cantidad de calor sensible necesaria para producir la evaporación del agua y disminuir su temperatura. El intercambio de calor se realiza hasta que el aire se satura (teóricamente hasta 100% de la humedad relativa), en este proceso la temperatura del aire y del agua se igualan, alcanzando un estado estacionario.

#### 4.3.1 Rendimiento

Los enfriadores evaporativos son usados con frecuencia en lugares donde la temperatura ambiente es alta y la humedad relativa es baja. El rendimiento máximo se obtiene

con el estudio del enfriamiento adiabático y para cualquier otra condición su rendimiento disminuye. En su estudio se consideran los siguientes factores:

- La cantidad de calor eliminado no puede ser superior al calor latente necesario para saturar el aire.
- Los rendimientos varían en forma proporcional a la temperatura y a la humedad relativa del aire.
- El factor de ensuciamiento de los paneles evaporativos, es un factor de importancia a la hora de evaluar el rendimiento.
- El rendimiento energético es superior a los convencionales por compresión, llegando a ocupar solo en 20% de la energía para la misma carga térmica.

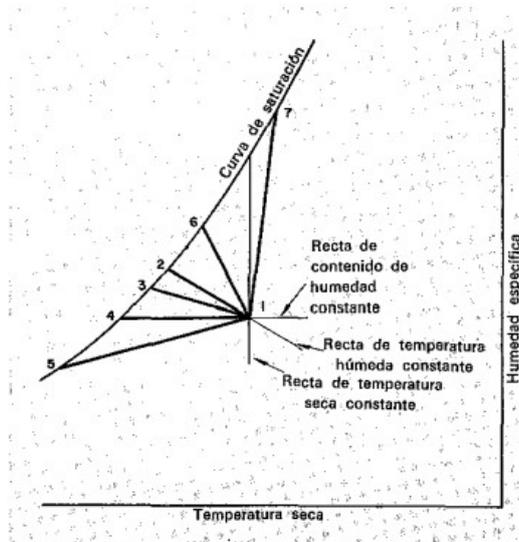
El estudio del comportamiento bajo condiciones que no son adiabáticas se lo desarrolla con mayor detalle en (Carrier, 1980, pág. 130).

#### **4.3.2 Análisis del rendimiento**

Para seleccionar un enfriador evaporativo que cumpla con los requerimientos de este proyecto, deben considerarse los siguientes conceptos de enfriamiento adiabático y su rendimiento:

**Aumento y disminución de la temperatura en la entrada de agua:** En la figura 10, el comportamiento adiabático está representado por la recta 1-2. “Esta curva, en el diagrama psicrométricos, prácticamente se confunde con la curva de temperatura húmeda constante que pasa por el punto representativo del aire a la entrada. La temperatura del agua pulverizada permanece constante e igual a esta temperatura húmeda” (Carrier, 1980, pág. 130).

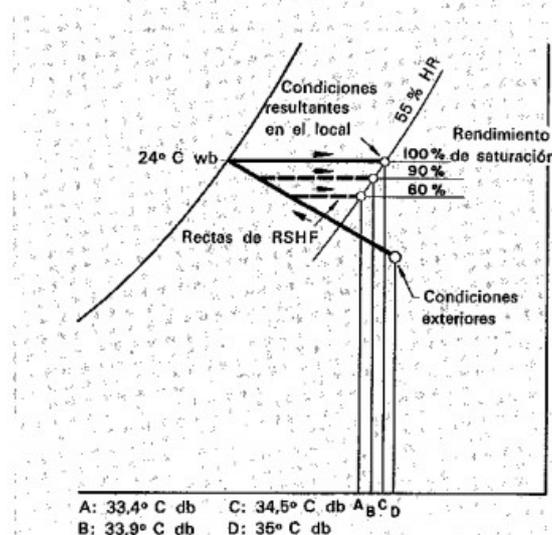
**Figura 10**  
*Comportamiento del enfriamiento adiabático*



*Nota: Adaptado de Manual de aire acondicionado (p.131), Carrier, 1998, Marcombo.*

**Variación de la velocidad de circulación de aire:** la velocidad del aire debe ser controlada y depende del grado de contacto entre aire, con la superficie donde circula el agua. “Los valores se encuentran en un rango de 1.6 a 1.7  $m/s$ ” (Carrier, 1980, pág. 131). Los equipos actuales controlan este valor usando motores de velocidad variable, que mantienen los paneles en las condiciones adecuadas para una eficiencia máxima.

**Figura 11**  
*Rendimiento de los enfriadores evaporativos*



*Nota: Tomado de Manual de aire acondicionado (p.131), Carrier, 1998, Marcombo.*

**Rendimiento:** En condiciones normales de funcionamiento el aire enfriado no alcanza el 100% de humedad relativa. El valor de saturación depende del tiempo de contacto de la

corriente de aire, con la superficie del panel y el estado del mismo. El máximo rendimiento alcanzado se encuentra entre los rangos de 85 a 95 %HR<sup>2</sup>. La figura 11 muestra la variación del rendimiento de un enfriador evaporativo con el rendimiento de la evaporación.

### 4.3.3 Clasificación

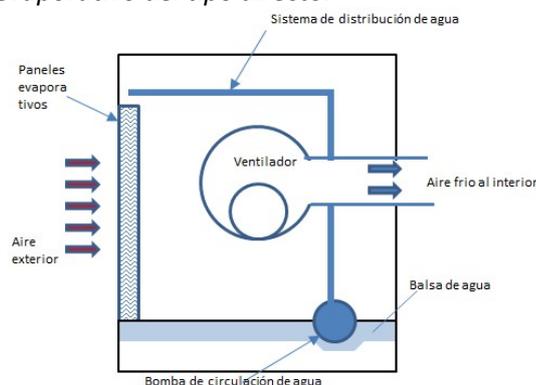
El principal inconveniente de los enfriadores evaporativos, es que el aire a la salida se encuentra “frío” pero cargado de humedad. Esto limita su aplicación en la industria vitivinícola que requiere un control estricto de la humedad para evitar el desarrollo de agentes contaminantes y restos de suciedad que puedan afectar la calidad del producto final. Según la aplicación, los sistemas evaporativos que se adaptan a este proyecto pueden ser:

#### Enfriadores directos

Los enfriadores evaporativos del tipo directo ponen en contacto el agua con la corriente de aire proveniente del exterior. Al entrar en contacto directo ambas corrientes, el aire cede calor al agua reduciendo su temperatura a medida que aumenta su humedad. La cantidad de calor sensible extraído depende de las condiciones psicrométricas del aire a la entrada, por lo que es difícil un buen control de la temperatura del local a acondicionar. El aire que sale del enfriador arrastra partículas de agua que pueden perjudicar el rendimiento de los filtros y producir un aumento en la caída de presión. En condiciones normales de funcionamiento el aire cargado de humedad genera condiciones de discomfort para el personal que trabaja en el local.

#### Figura 12

Esquema de un enfriador evaporativo del tipo directo.



Fuente: Elaboración propia.

<sup>2</sup> Puede ampliar el tema en el libro de Manual de aire acondicionado de Carrier, 1980 pág. 132.

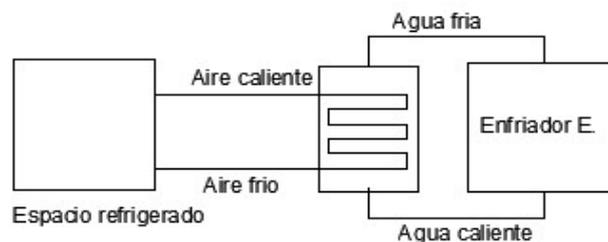
Los enfriadores de este tipo, pueden clasificarse según la superficie de contacto con el agua.

Entre ellos encontramos:

- De paneles evaporativos: Están compuestos de paneles de fibra tratada químicamente, que se montan en marcos de metal.
- De medio rígido: Son similares a los anteriores, sin embargo, las fibras son sustituidas por placas rígidas corrugadas de plástico, celulosa o fibra. Este sistema se usará en el proyecto, por lo que se tratará con más detalle en la siguiente sección.
- Rotativos.

**Figura 13**

*Esquema de enfriamiento evaporativo indirecto*



*Fuente:* Elaboración propia.

### **Enfriador evaporativo indirecto**

Este tipo de enfriador se usa en aquellas aplicaciones donde no se pretende aumentar el contenido de humedad del aire. Están compuestos por dos circuitos:

- Circuito de aire: en donde se logra la evaporación del agua por el proceso anteriormente descrito.
- Circuito de agua: en donde el agua fría circula por un intercambiador de calor que forma parte de un circuito cerrado de conducción.

Los sistemas de este tipo no realizan pulverización del agua sobre el aire, como consecuencia se evita la contaminación. La desventaja de este sistema, es que el intercambiador no llega a enfriar el aire hasta el límite que se obtiene con el método anterior. Por ello es necesario contar con humedades muy bajas, para lograr un rendimiento aceptable de estos sistemas.

#### 4.3.4 Variación en el rendimiento

Para cualquier día la temperatura y humedad relativa del ambiente son variables y limitan el tiempo de funcionamiento del enfriador evaporativo. Además el rendimiento se ve modificado por las variaciones estacionales de humedad y temperatura que alteran los parámetros del aire a la entrada del enfriador. Como consecuencia de estas variaciones el equipo no puede suministrar un flujo constante de agua fría y su rendimiento disminuye a lo largo del año. El intervalo de tiempo en el cual el equipo estará en funcionamiento y puede alcanzar un nivel de rendimiento aceptable se analiza en el anexo A. Para este proyecto el rendimiento debe ser superior al 60% que comprende el intervalo de humedad relativa el 20 y el 50% HR.

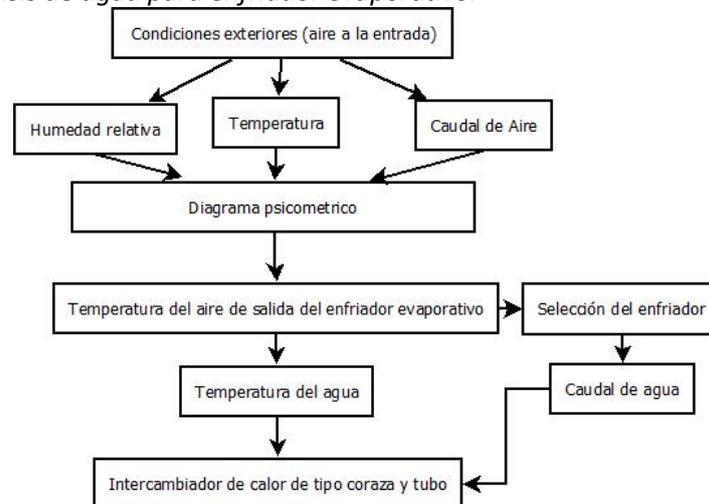
#### 4.3.5 Parámetros de selección de un equipo evaporativo

El enfriador evaporativo debe poder extraer de manera total o parcial la carga térmica del local computada en la sección 3.3. De acuerdo a la sección 4.3.4 y el procedimiento adoptado en la figura 14, los datos para la correcta selección del enfriador evaporativo serán:

- Temperatura de salida del aire.
- Porcentaje de humedad relativa a la salida.
- Rendimiento.

A partir de estos datos podrá estimar la temperatura interior del agua en el enfriador.

**Figura 14**  
*Esquema de análisis de agua para enfriador evaporativo.*



*Fuente: Elaboración propia.*

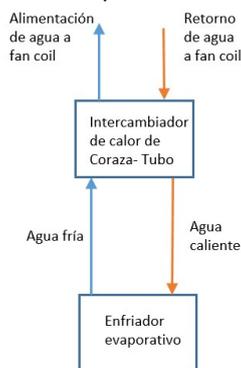
La selección del enfriador evaporativo se ve afectada por la disponibilidad en la región de las capacidades frigoríficas que comercializan los distintos proveedores. Los fabricantes adjuntan una tabla de selección de acuerdo a las condiciones del aire al entrada y la potencia frigorífica requerida del equipo, sin embargo estos análisis se hacen en condiciones óptimas (paneles nuevos y flujo de aire constante) y para seleccionar correctamente este equipo se afectará la potencia frigorífica por un factor de 0.9, que agrupará el desgaste y el ensuciamiento en la superficie de evaporación.

#### 4.3.6 Selección del enfriador evaporativo

Los enfriadores que se encuentran actualmente en el mercado, no son del tipo indirecto. Para lograr cumplir con el objetivo de proyecto se seleccionó un enfriador del tipo directo con capacidad para disipar la carga térmica del local, al cual se le incorporará un intercambiador de calor de tipo coraza y tubo para aprovechar el agua fría generada. De esta forma el enfriador evaporativo de tipo directo, funcionará como un enfriador del tipo indirecto produciendo agua fría que será usada para lograr el disminuir el consumo eléctrico del enfriador actualmente instalado. La figura 15 muestra un esquema de funcionamiento del enfriador evaporativo indirecto.

**Figura 15**

*Esquema de funcionamiento del enfriador evaporativo indirecto*



Fuente: Elaboración propia.

El caudal de agua a fría que suministra el enfriador evaporativo se computa de acuerdo a la velocidad de recirculación del agua y para adaptar el equipo a la carga térmica del local podrá aumentarse la cantidad de enfriadores evaporativos a usar, sin afectar los parámetros térmicos de conserva y fermentación de los vinos.

El enfriador directo **AD50** produce un salto térmico de 5°C, suficiente para lograr una transferencia de calor efectiva. Se considera que la temperatura del agua en el enfriador

evaporativo será igual a la temperatura de bulbo húmedo. Sin embargo, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2007) explica:

A esta diferencia entre la temperatura del agua enfriada que sale de la torre y la del termómetro de bulbo húmedo en el aire de entrada se le denomina APROXIMACIÓN o ACERCAMIENTO. Para el cálculo se utilizan valores de entre 3 y 6 °C, según el margen de seguridad deseado (p.22)

Los fabricantes facilitan las tablas para realizar el análisis de este comportamiento. Los datos de temperatura y humedad relativa se obtienen de la estación meteorológica ETCHART, del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

#### **4.3.7 Bomba de circulación de agua**

El enfriador evaporativo se encuentra previsto de una bomba interna, que recircula el agua de la balsa por los paneles evaporativos (figura 13), enfriándola con cada ciclo. Para aprovechar este gradiente de temperatura se instalará en la parte interior de la balsa una bomba de agua de 2hp capaz de suministrar un caudal de agua de 10,4 m<sup>3</sup>/h.

#### **4.3.8 Agua de reposición**

Para producir el enfriamiento adiabático, es necesario que el agua del enfriador tome contacto con la corriente de aire. Como consecuencia se pierde agua de la balsa que debe reponerse para mantener el enfriamiento.

El agua de reposición debe mantener cierto grado de impurezas y salinidad para evitar la acumulación de contaminantes sobre la superficie del panel, manteniendo rendimientos aceptables del enfriador. El fabricante indica:

La conductividad del agua de la bandeja no puede ser superior a 2.000 micro siemens. Normalmente las aguas de la red son adecuadas para los enfriadores evaporativos aunque esto no exenta de realizar el montaje de sistema de vaciado de agua automático (Met Man, 2014, pág. 2)

No fue posible realizar el estudio de conductividad eléctrica del agua de la red y para determinar este valor se recurrió al informe (Morandi, 2014), que menciona:

En general muestran valores que se corresponden con conductividades y contenidos de sodio bajos a moderados. Los valores de conductividad oscilan por debajo de 0.75 micromhos/cm ( $\mu\text{mhos/cm}$ ) indicando un peligro de salinidad bajo a moderado pág. 43.

Bajo estos resultados, el agua de red cumple los niveles de salinidad para ser usada en la reposición de la balsa del enfriador evaporativo

#### **4.4 Equipo enfriador de agua**

##### **4.4.1 Fundamentación teórica**

Los enfriadores de agua por compresión de gas refrigerante, son equipos de climatización usados en grandes instalaciones debido a la posibilidad que tienen de enfriar o calentar corrientes de agua.

Estos equipos usan un sistema de expansión directa que calienta o enfría el agua mediante el intercambio térmico. Tienen como características principales:

- Mantener el líquido refrigerado cuando está en función de frío.
- Mantener el líquido calentado cuando está en función de bomba de calor.

En este proyecto el equipo ya se encuentra instalado. El objetivo de esta sección es explicar su funcionamiento y exponer los sistemas de control encargados de mantener el caudal en el intercambiador de calor.

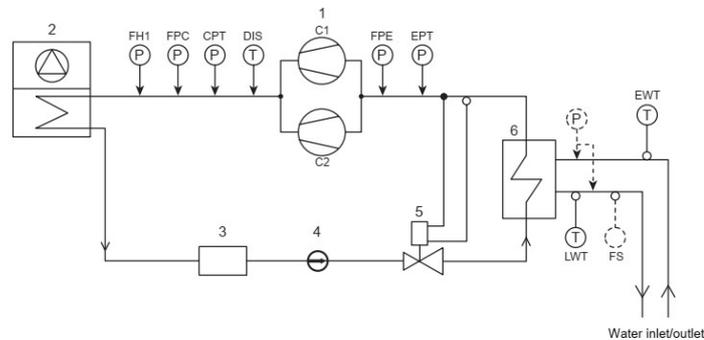
##### **4.4.2 Principio de funcionamiento**

El caudal de agua proveniente de los tanques de fermentación circula a través de un intercambiador y transmite su calor al flujo del refrigerante. El refrigerante recibe el calor del agua que circula por la red de distribución y se evapora (6). En ese estado es extraído por el compresor (1), el cual aumenta su presión y lo envía hacia el condensador (2). En dicho proceso el refrigerante se calienta por el efecto de la compresión y del calor del motor del compresor. El gas caliente del compresor entra al condensador, en donde su calor es transmitido a un medio refrigerante. El calor extraído provoca que el refrigerante se condense

a alta presión. El refrigerante en estado líquido a alta presión es enviado directamente al a válvula de expansión para su inyección en el evaporador (6) y así reiniciar el ciclo.

**Figura 16**

*Esquema de funcionamiento de la unidad de enfriamiento de agua*



*Nota:* Tomado de Technical Brouch (p.5), Electra, 2003.

Los refrigerantes más usados en la actualidad son CFC y HCFC, el rendimiento del enfriador varía según su elección<sup>3</sup>. Se emplean diferentes tipos de compresores como los del tipo semiherméticos, hermético y tornillo. Los evaporadores suelen ser del tipo casco y tubo, aunque se encuentran los de placas.

#### 4.4.3 Equipos de control

Los sistemas de control son los responsables de mantener el caudal de agua y la temperatura en los intercambiadores de calor. Forman parte de este sistema los siguientes elementos:

- **Termostatos:** Actúan para conectar o interrumpir un circuito en respuesta a un cambio de temperatura (lo cierran con un aumento de temperatura y lo interrumpirán con un descenso de esta temperatura).
- **Presostatos de baja presión:** Se conecta en la succión del compresor y operan cuando en el sistema existe baja presión.

---

<sup>3</sup> El rendimiento de cada refrigerante se obtiene mediante las curvas de operación proporcionadas por el fabricante.

- Filtro deshidratador : Se encuentra instalado en la línea de succión y tiene por objeto absorber la humedad que contenga el refrigerante, así como detener cualquier partícula extraña que viaje hacia el compresor.

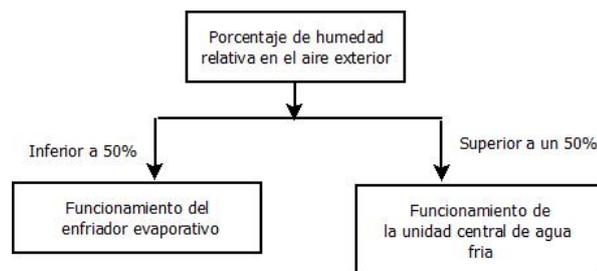
- Indicador de líquido: Permite verificar visualmente que el sistema tenga su carga completa de refrigerante y que éste se mantenga seco.

- Circuito de control: Se encarga de controlar los paros y arranques del motor, así como de mostrar las señales de alarma.

#### 4.5 Configuración del equipo

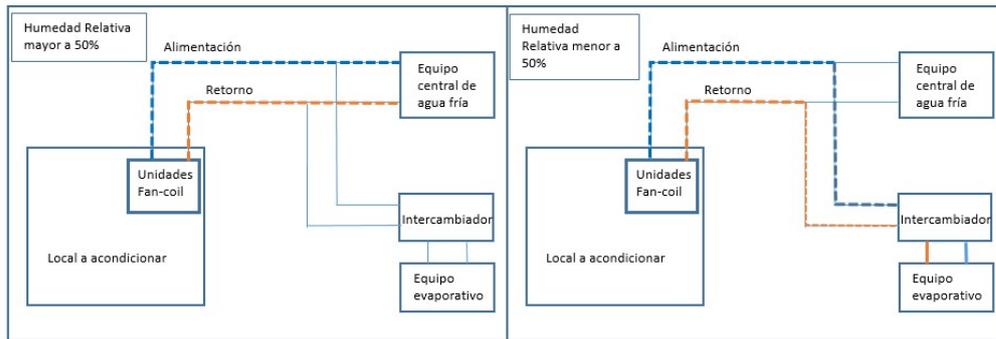
Las unidades fan coils seleccionadas son del tipo de doble tubo y deben ser alimentadas por un sistema de agua fría que les permita extraer toda la carga térmica del local. Como se ha mencionado en la sección anterior, se hará uso del enfriador evaporativo cuando las condiciones ambientales permitan. El tiempo restante el agua fría será suministrada por el equipo de enfriamiento que actualmente se encuentra instalado en el exterior del local a acondicionar.

El siguiente cuadro resume el funcionamiento de uno u otro equipo de acuerdo a la condición ambiental externa.



Es posible además adoptar dos configuraciones para asegurar el funcionamiento de la planta:

**Figura 17**  
**Configuración 1**

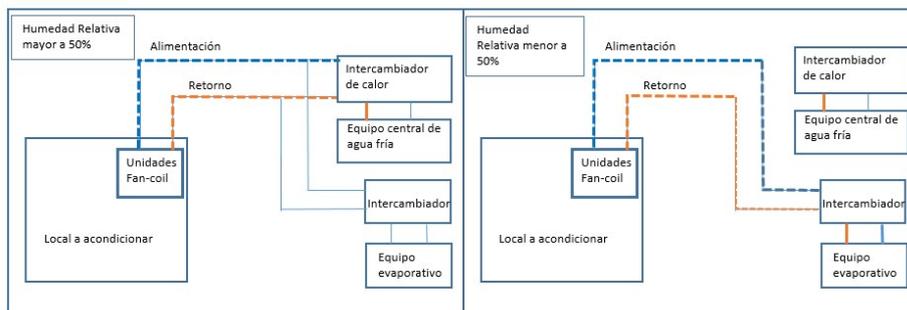


Fuente: Elaboración propia.

En la configuración 1, las unidades fan coil son alimentadas por una corriente de agua proveniente del equipo actual, debido a que la humedad relativa del ambiente supera el 50%, el rendimiento del enfriador evaporativo es muy bajo. Cuando la humedad relativa descienda por valores menores a 50%, el agua fría se obtendrá del intercambiador del enfriador evaporativo, disminuyendo los costos de funcionamiento.

Esta configuración aumenta la temperatura del agua de alimentación (proveniente del enfriador de agua) a 9 °C. Sin embargo, como se explicó en la sección 2, existen procesos donde las temperaturas más bajas y por lo tanto se requieren un equipo adicional que de agua fría a 5°C.

**Figura 18**  
**Configuración 2**



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 18, un intercambiador de calor se acopla entre el equipo de agua fría y las unidades fan coils. Este intercambiador permite trabajar con menores valores de temperatura (alrededor de 4 y 5°C).

En la época de vendimia es posible alimentar los procesos con estas temperaturas permitiendo el resto del año que las unidades sean sustentadas por agua fría, con el mismo equipo.

#### 4.5.1 Selección

En este trabajo se optará por la configuración 2 para alimentar las unidades fan coils. Esta elección está basada en el costo de adquisición adicional un equipo de enfriamiento de agua, requeridas para la configuración 1.

Las cargas de refrigeración son variables haciendo posible diseñar un sistema de control con el fin de que la unidad de enfriamiento evaporativo y el equipo de enfriamiento de agua puedan trabajar con cargas parciales. El control de derivación de flujo de agua, será manual y operado desde el por medio de válvulas de control.

El equipo actualmente instalado es un ElectraAQL 40. Las características técnicas se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 2**  
 Características del equipo Electra 40

AQL sizes	20	25	30	35	40	50	60	70	80	
Power supply (V / Ph / Hz)	400/3+N/50									
Cooling capacity *	21.5	26.0	29.9	34.2	42.0	46.5	56.9	67.3	75.4	
Total power consumption with pump	8.4	10.0	11.4	12.2	16.1	19.4	23.9	28.1	30.7	
Total power consumption	7.6	9.2	10.6	11.4	15.4	18.7	22.8	27.0	29.6	
COP	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.6	2.7	2.7	2.7	
Refrigerant charge	6.2	6.2	6.2	7.6	9	9	10	11	16	
Lw sound power levels	75	76	76	77	82	82	84	87	87	
<b>Compressors</b>										
Type	Scroll - Hermetically sealed									
Quantity	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Capacity reduction stages	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Minimum capacity	50	50	50	50	45	36	36	45	50	
Safety presostat	HP (fixed set point) LP transducer HP transducer									
<b>Evaporator</b>										
Type	Brazed stainless steel plates									
Maximum pressure refrigerant side	30									
Maximum pressure water side	10									
Safety	Differential presostat				Water flow switch					
Anti-freeze protection heating resistance	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Water volume	1.67	2.2	2.44	2.44	3.44	4.33	5.33	6.33	7.10	
<b>Condenser</b>										
Type	3/8" copper tube - Loured aluminium fins									
<b>Fans</b>										
Quantity	2	2	2	2	1	1	1	1	1	
Fan diameter	610	610	610	610	800	800	800	800	800	
Speed (High/Low)	640/500	640/500	640/500	640/500	700/500	700/500	700/500	900/520	900/520	
Max. air flow (HS)	11200	11200	11200	11200	15500	15500	15500	21000	21000	
<b>Water connections</b>										
Type	Gas - Threaded				Gas - Threaded					
Diameter	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	2"	2"	2"	2"	2"	
Expansion tank	5				12					
Filter	1" 1/2, supplied loose				2", supplied fitted					
Safety valve calibration	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
<b>Water circulation pump</b>										
Type	Single speed centrifugal pump									
Material	AlSi 304 stainless steel				Composite					
Protection index	IP54				IP54					
Three phase motor	Class F				Class F					
<b>Weight</b>										
With pump	280	290	300	305	500	550	570	600	620	
Without pump	265	275	285	290	480	530	550	580	600	
<b>Dimensions</b>										
Length	1477	1477	1477	1477	1737	1737	2168	2168	2168	
Width	516	516	516	516	1201	1201	1201	1201	1201	
Height	1607	1607	1607	1607	1634	1634	1634	1634	1634	

Nota: Adaptado de Tecnical Brouch (p.8), Electra, 2003.

## 5 Red de agua fría

### 5.1 Introducción

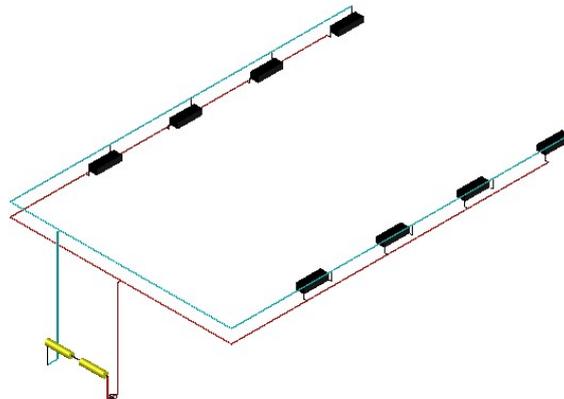
El funcionamiento de las unidades fan coils, requiere alimentación de agua desde el enfriador evaporativo y el retorno de la misma para su enfriamiento. En esta sección se diseñará el circuito de tuberías, que permite distribuir el agua fría destinada a extraer la carga térmica del local. La red de agua fría estará compuesta por:

- Alimentación de agua fría.
- Retorno de agua.

En la figura 19 se muestra en color celeste la red de alimentación de agua fría, en rojo la red de retorno, en negro las unidades fan coils y en amarillo intercambiadores de calor. La alimentación de agua, debe cumplir con los requisitos determinados de presión y caudal, para asegurar un correcto funcionamiento del fan coil (Tabla 1).

**Figura 19**

*Red de distribución de agua.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Las tuberías de alimentación, generan caídas de presión que afectan al funcionamiento de las unidades fan coil. Del mismo modo el agua que sale de la unidad debe retomar con la menor pérdida de presión posible, a la bomba de circulación.

En la siguiente sección se establecen los criterios de diseño, para la red de alimentación y retorno de las unidades fan coils.

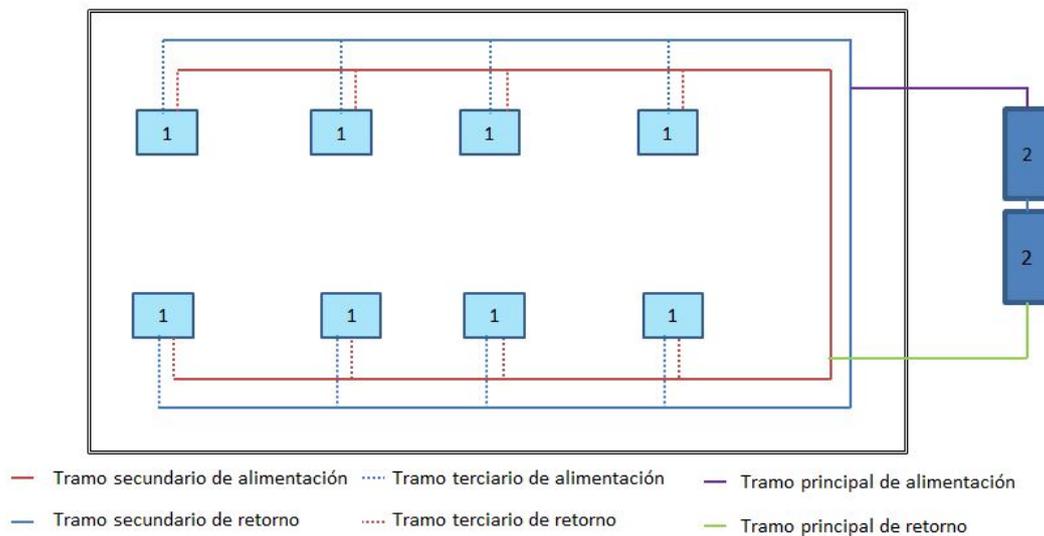
## 5.2 Descripción de la instalación

La distribución de agua para unidades fan coils se divide en dos tramos:

- Tramo interno: Se encuentra en el interior del local a acondicionar. Distribuye el caudal de agua por las unidades fan coils.
- Tramo externo: Se encuentra en la zona externa del local a acondicionar. Permite la conexión de la red a las unidades fan coils y los intercambiadores.

La figura 20 muestra un esquema general de la red de agua y su división por tramos:

**Figura 20**  
*Esquema de red de agua*



*Fuente:* Elaboración propia.

En color celeste se encuentran representadas las unidades fan coils (1), en azul los intercambiadores de calor (2). Las líneas de color rojo y azul representan la red de distribución de agua interna. En color violeta y verde la red de distribución de agua externa, siendo la alimentación y retorno respectivamente.

### 5.2.1 Red de distribución interna

Las tuberías encargadas de transportar agua en el interior del local de fermentación se encontrarán segmentadas en circuitos de tres tramos:

- Distribución terciaria: La forman todas las tuberías de alimentación y control de las unidades fan coil.
- Distribución secundaria: La forman todas las ramas de tubos que alimentan a la red terciaria.
- Distribución primaria: la forman las ramas de alimentación y retorno principal, que se conectan a la bomba de alimentación.

**Distribución terciaria:** Este tramo se encontrará montado sobre la pared, a una distancia de 50 mm. El espacio entre soportes será de 60 cm (AMANCO, 2021, pág. 12). Además se agregarán válvulas que permitan la desconexión total del aparato para su mantenimiento y reguladores de caudal automáticos para el control del flujo de agua.

La conexión de los fan coils se realizará por medio de tuberías flexibles que eviten la transmisión de las vibraciones. Los accesorios (válvulas, reguladores de caudal, filtros) se unirán por medio de elementos roscados y termofusión. El diámetro de las cañerías, para este tramo será de 20 mm de material polimérico (Polipropileno). El caudal de agua a transportar corresponde a las unidades fan coils seleccionada en la sección 4.2.

**Distribución secundaria:** Este tramo estará montando sobre soportes tipo “U” en las paredes a una distancia de 50 mm. La altura de montaje se determina por la distancia a la cabeza del tanque, siendo como mínimo de 30 cm. Se colocarán filtros de malla metálica ubicados cada dos unidades fan coils.

La conexión de este tramo se realizará por termofusión. El diámetro de las cañería será de 25 mm, de material polimérico (Polipropileno). El caudal de agua a transportar se calcula a partir de la cantidad de unidades fan coils por pared, siendo:

- Pared noroeste 2.28 l/s (cuatro unidades fan coils).
- Pared suroeste 2.28 l/s (cuatro unidades fan coils).

Los anclajes se encontrarán una distancia de 70 cm (AMANCO, 2021, pág. 12).

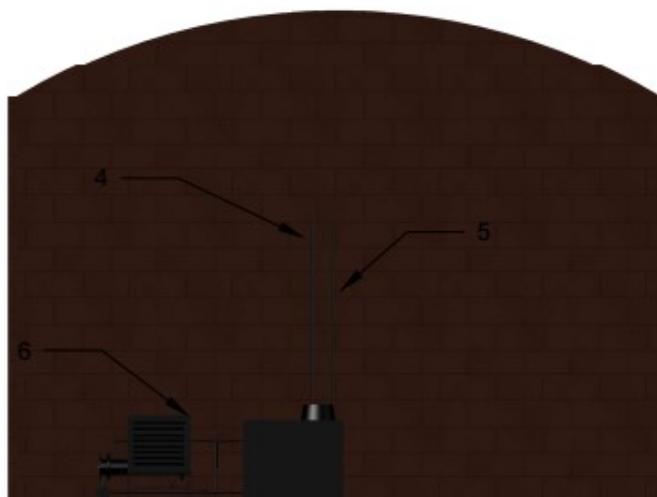
**Distribución primaria:** El trazado de la distribución primaria se realizará en la pared exterior sureste. Las tuberías se encontrarán ancladas con soportes tipo “u” y deberán atravesar la pared sureste.

Parte de la instalación se encontrará sobre suelo a una distancia mayor a 0.1 metros. Se instalará una llave de corte general antes de la conexión a la bomba. En los tramos ascendentes se colocarán válvulas de retención en sentido de circulación del agua fría, una llave de corte para las operaciones de mantenimiento y una válvula de purga en el tramo más próximo al suelo. La conexión de la red de distribución de agua con los intercambiadores se realiza por medio de bridas de 50 mm.

La conexión de los accesorios (codos, te de derivación) se realizará por termofusión. El diámetro de las cañerías, para este tramo será de 50 mm de PPR (Polipropileno). El caudal de agua a transportar se calcula a partir de la cantidad total de unidades fan coils, siendo 4,46 l/s. En figura 21, se muestra la vista de la pared sureste con la tubería de alimentación(4); tubería de retorno(5) y los equipos externos (6).

**Figura 21**

*Representación del tramo principal en la pared sureste*



*Fuente:* Elaboración propia.

**La red de retorno:** El criterio de selección de las tuberías es similar al de la red de alimentación. El retorno se hará por medio de tuberías de polipropileno, con las mismas condiciones del apartado anterior. El tramo secundario tendrá una pendiente descendente de 1° desde la última unidad instalada, hasta la tubería principal de retorno.

Las tuberías de retorno se ubicarán en forma paralela a la tubería de alimentación. Su conexión a las unidades fan coil se hará por medio de mangueras flexibles interponiendo una válvula de corte. La distancias entre los caños se señala en el plano 3.04.

### 5.2.2 Red de distribución externa

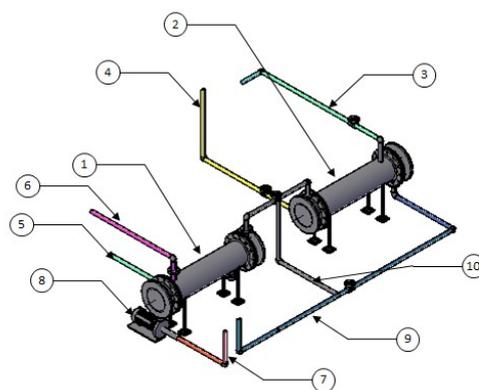
Los intercambiadores de calor se alimentarán de agua fría mediante dos circuitos:

- Red del equipo de agua fría: Es un circuito cerrado. El flujo de agua lo proporciona una bomba interna situada en el interior de la unidad de enfriamiento. En este diseño no se considera el uso de un tanque de reserva para este circuito.
- Red de agua para el enfriador evaporativo: Es un circuito abierto, la circulación de agua es dirección opuesta al flujo por los tubos del intercambiador. El circuito se alimenta de la balsa de agua fría contenida en el enfriador evaporativo.

La figura 22 se muestra un esquema de la red de conexión de agua proyectada en el exterior de la bodega con: su intercambiador de calor de tubo y coraza para el equipo de enfriamiento de agua (1) acoplado al intercambiador de calor de tubo y coraza para el enfriador evaporativo (2), cuya alimentación procede del enfriador evaporativo (3) y el retorno se realiza por (4).

La tubería (5) proviene del equipo de agua fría, pasa por el intercambiador y retorna por (6). El retorno de agua distribución principal (fan coil) se realizará por (9) mediante la bomba de impulsión (8). La alimentación a este tramo será por (7).

**Figura 22** Red de distribución externa



Fuente: Elaboración propia.

La conexión de la red de distribución de agua con los intercambiadores se realizará por medio de bridas. Se colocarán llaves de corte en todas las derivaciones, de modo que en caso de avería en cualquier punto de la red, no deba interrumpirse todo el suministro de agua.

### **5.3 Diseño de la red de tuberías**

Como se explicó en la sección anterior, las unidades fan coils se alimentan por un circuito de tuberías de tres tramos. La ubicación dentro del local de esta red deberá limitar al máximo la transferencia de calor y las pérdidas de presión.

La transferencia de calor se reduce aislando las tuberías de impulsión y las de retorno (sección 6).

Las pérdidas de presión se agrupan en dos tipos:

- Pérdidas de presión primaria: son derivadas del rozamiento del agua con la tubería. El procedimiento para calcularlas consiste en obtener su valor por medio del diámetro y la longitud de cada tramo.
- Pérdidas de presión secundaria: Se denominan pérdidas secundarias a todas aquellas causadas por los estrechamientos, derivaciones o cambio de dirección. El método usado en este proyecto para su cálculo, es el de las longitudes equivalentes.

En la siguiente subsección se explica el método desarrollado para el cálculo de las caídas de presión.

#### **Cálculo de la pérdida de presión.**

Existen varios métodos para el cálculo de la caída de presión en tuberías. El dimensionado de la red de agua, en este proyecto, se realizó tomando el método propuesto por (Quadri, 1987, pág. 48). El caudal máximo de cada tramo será igual a la suma de los caudales en los puntos de alimentación de las unidades Carrier B42. El coeficiente de simultaneidad es igual a 1, con todas las unidades en funcionamiento para la máxima carga térmica estimada. La velocidad del agua estará comprendida dentro del intervalo de 0.5 y 2 m/s. El diámetro de la tubería estará en función del caudal y de la velocidad de circulación. Los resultados de este estudio se muestran en la sección 14.

#### 5.4 Selección de la bomba

Para que el sistema funcione correctamente, es necesario seleccionar una bomba de impulsión de agua considerando las pérdidas primarias y secundarias ocasionadas por los componentes que forman la instalación. Las mismas son:

- Pérdidas de presión ocasionadas por los intercambiadores.
- Pérdidas de presión por la red de tuberías.
- Pérdidas en unidades fan coils.

**Pérdidas ocasionadas por los intercambiadores:** Al no contar con los equipos necesarios para la prueba de caída de presión, la evaluación de las pérdidas de carga se hace por el método propuesto por (Serth, 2007, pág. 190).

**Pérdidas de carga por unidades fan coils.** El fabricante provee las pérdidas de cargas ocasionadas en cada una de las unidades fan coils. Los valores se encuentran la sección 4.2.

La caída de presión resultante, según los criterios adoptados en apartado anterior es de 18 mca. La bomba debe superar la pérdida de presión y tener el caudal necesario para alimentar el tramo de alimentación. Según estos resultados la bomba será del tipo centrífugo con un caudal de 160 l/min (tabla 3).

**Tabla 3**  
*Especificaciones técnicas de la bomba de agua*

<b>Artículo: CPM 200 - Centrífuga Trifásica</b>
<b>Alimentación: 380 VCA - 50 Hz</b>
<b>Caudal máximo: 160 L/min</b>
<b>Altura máxima: 46 m</b>
<b>Capacidad máx. succión: 8 m</b>
<b>Temperatura máx. del agua: 35° C</b>
<b>Velocidad del motor: 2855 r.p.m.</b>
<b>Potencia del motor: 3 Hp</b>
<b>Intensidad: 4,85 A</b>
<b>Peso neto: 22 Kg</b>

*Nota:* Adaptado de Manual de uso y mantenimiento (p.2), Gamma.

## 5.5 Regulación de caudal

El caudal de agua suministrado a la red principal depende del funcionamiento del enfriador evaporativo. Este proyecto no se contempla la regulación de los caudales de alimentación a los intercambiadores.

La regulación de caudales en los circuitos de evaporación y del enfriador de agua serán manuales y se usarán dos tipos de válvulas:

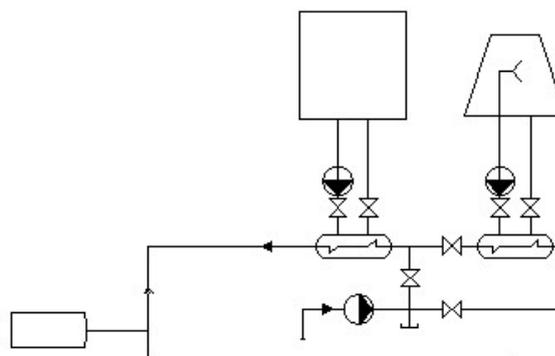
- Válvula de globo.
- Válvula esférica.

La válvula de globo es utilizada principalmente cuando se requiere control del flujo, pero también efectúa labores de cierre o apertura completa. Cuando se produce la regulación con esta válvula las pérdidas de presión aumentan considerablemente, por lo que es necesario reevaluar el funcionamiento de la misma para la regulación. Las del tipo esférica, trabajan mejor a presión, siendo estas usadas preferentemente en los circuitos de derivación fan coils.

En la figura 23 se observa un diagrama que muestra la conexión de la válvula de regulación en el tramo de retorno de agua (1), la válvula de control de paso(2) y la válvula de derivación del circuito(3) que regula el paso de agua por el circuito del enfriador evaporativo, cuando las condiciones no son óptimas para su funcionamiento.

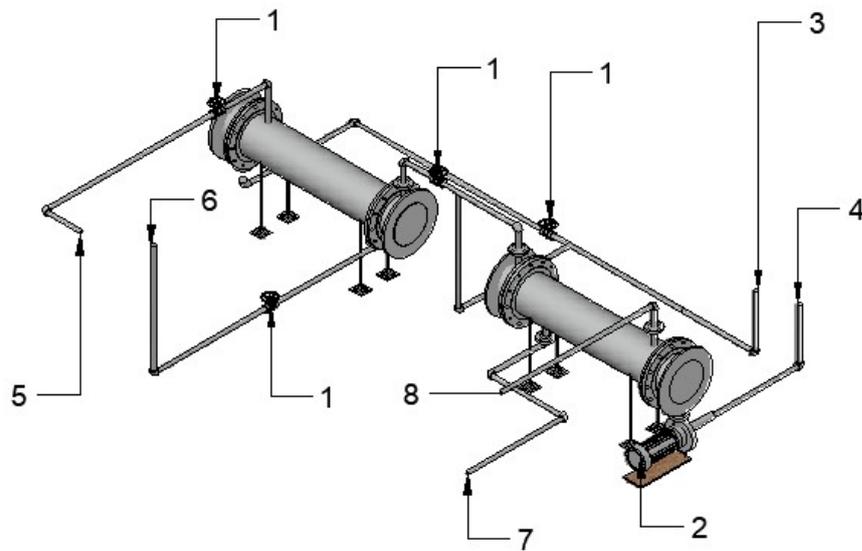
### Figura 23

*Representación esquemática del sistema de control de los caudales en el intercambiador de calor.*



La figura 24 muestra la conexión de las válvulas en los equipos externos. Se observa válvulas del tipo globo (1), que regulan el flujo de agua producido bomba centrífuga (2). La alimentación de agua se realiza por la cañería (3) y su retorno por (4). La alimentación en el enfriador evaporativo (5) y el retorno por la tubería (6). La alimentación de agua del unidad de enfriamiento(7) y la retorno de agua a la unidad de enfriamiento (8), será por la bomba incluida en el equipo.

**Figura 24**  
*Representación de las válvulas instaladas.*



*Fuente:* Elaboración propia.

## 6 Aislamiento

### 6.1 Introducción

En la sección 5, se explicó el criterio de diseño de la red de agua. Esta red está dividida en tramos interno y externo. Cada uno de estos tramos se encuentra sometido a gradientes de temperatura distintos y para evitar la transferencia de calor los conductos deberán aislarse térmicamente. En esta sección se pretende seleccionar y estimar el espesor de la capa de aislamiento de cada tramo.

### 6.2 Aislamiento térmico

El objetivo fundamental del aislamiento térmico es reducir las pérdidas de calor y evitar la condensación superficial de agua sobre los caños. Como explicó en la sección 4 parte de la instalación se encuentra en el exterior y bajo condiciones que no son óptimas para un buen rendimiento del sistema. El tramo interno, siendo más extenso en su longitud, también se encuentra sometido a estas pérdidas (aunque con un gradiente de temperatura menor). Ambos tramos deberán evaluarse para obtener un espesor aceptable de aislación, que se ajuste a un presupuesto económico y reduzcan al máximo las pérdidas térmicas.

Según el reglamento instalaciones térmicas en los edificios, hay dos procedimientos para la selección del espesor mínimo del aislamiento de las tuberías:

- El procedimiento simplificado que requiere tablas de selección.
- El procedimiento alternativo, en el que se debe justificar que las pérdidas térmicas en los conductos no superarán el 4% de la potencia máxima transportada.

“Para el cálculo del espesor mínimo de aislamiento se podrá optar por el procedimiento simplificado o por el alternativo. Para instalaciones de más de 70 kW debe utilizarse el método alternativo” (Instituto para la diversificación y el ahorro de la energía, 2021, pág. 33765). Para este proyecto, sin embargo se usará el software Aislam.

### 6.3 Espesores mínimos de aislamiento térmico

Evaluar el espesor del aislamiento requiere conocer los siguientes datos:

- Longitud de la tubería.
- Diámetro y material de las tuberías.
- Temperatura de trabajo de agua fría de alimentación de las unidades fan coils.
- Temperatura del agua de retorno del circuito.
- Horas de funcionamiento de la instalación.

#### **6.4 Tipos de aislación**

En el mercado existen distintos tipos de materiales aislantes y dependiendo de las temperaturas de trabajo, ubicación y el control de la condensación se seleccionará el más adecuado. Los aislantes más relevantes cañerías de transporte de agua son:

- Lana de vidrio.
- Vidrio celular.
- Espuma elastomérica.
- Materiales microporosos.

#### **6.5 Criterio para la selección de la aislación**

Para este proyecto el material de la aislación térmica debe tener un valor bajo de conductividad térmica y una alta resistencia a la radiación solar. El espesor del aislamiento es elegido de acuerdo a la diferencia de temperatura ente el ambiente y la temperatura del agua del circuito de distribución.

- Diferencia de temperatura del tramo externo: Es la diferencia ente la temperatura promedio máxima ambiente alcanzada durante la vendimia (35 °C) y la temperatura del agua de alimentación (9°C).
- Diferencia de temperatura del tramo interno: Es la diferencia ente la temperatura promedio de la bodega (20 °C) y la temperatura del agua de alimentación (9°C).

Cuanto mayor sea el espesor de la aislación es mejor térmicamente, pero más costosa se vuelve la instalación. Por ello la elección del el espesor y tipo de la aislante es un balance entre la eficiencia y el costo.

### **6.5.1 Selección del aislante**

Los resultados del estudio de la aislación para los tramos externos e internos se muestran en la sección 12.2.1. Se elige aislantes sanitarios del tipo funda de polietileno, cumplen con estos requisitos. Su diámetro comercial será de 2”.

## **7 Intercambiadores de calor**

El objetivo del proyecto es reducir los costos para la producción de agua fría en la bodega Trassoles. En las secciones anteriores se ha realizado la evaluación y selección de los elementos que conformaran la red de distribución de agua. Se han seleccionado los equipos de producción de agua fría, en base al estudio térmico realizado en la sección 3. El último paso para ejecutar finalmente la evaluación del sistema será diseñar los intercambiadores de calor.

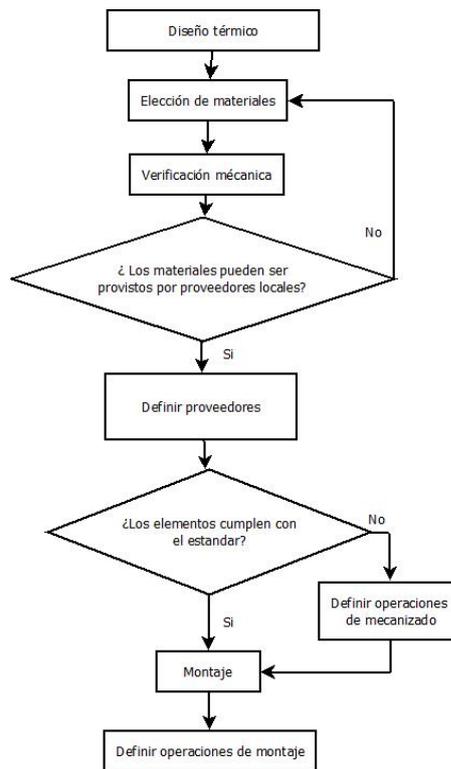
Para lograr una transferencia efectiva de calor sin llegar a la mezcla de los circuitos se usarán dos intercambiador de calor de tubo y de coraza. Estos tipos de intercambiadores para el rango de temperaturas y caudales de agua del presente proyecto no se encuentran en el mercado, por lo tanto se requiere del diseño y la planificación de su construcción.

Los intercambiadores de calor serán:

- Intercambiador de tubos y de coraza para la unidad de enfriamiento de agua.
- Intercambiador de calor para la unidad de enfriamiento evaporativo.

El proceso para el diseño del intercambiador será el siguiente:

**Figura 25**  
*Proceso de diseño del intercambiador*



Fuente: Elaboración propia.

Antes de comenzar con este diseño, se resumirán los conceptos más relevantes.

## 7.1 Intercambiadores de tubos y coraza

Los intercambiadores de tubos y coraza pueden trabajar bajo distintos rangos de presión y temperatura. Su eficiencia es elevada a comparación de otros tipos de intercambiadores y su construcción es relativamente sencilla. Para su diseño, se requiere establecer las condiciones térmicas y mecánicas de funcionamiento. La fabricación puede realizarse con distintos materiales, según las propiedades del líquido que circula por el interior del intercambiador.

### 7.1.1 Estándares TEMA

La Asociación de Fabricantes de Intercambiadores Tubulares (también conocida como TEMA) establece un conjunto de estándares para el diseño y la construcción equipos

intercambiadores de calor de tubo y de coraza. En este trabajo se usa la novena edición, publicada en el año 2007. La norma se compone de diez secciones:

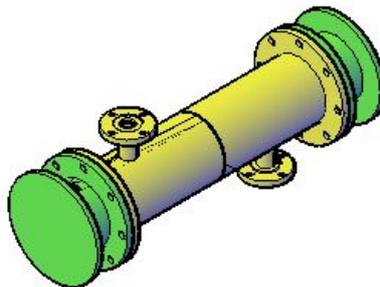
1. Nomenclatura.
2. Tolerancias de fabricación.
3. Información general de fabricación y rendimiento.
4. Instalación, Operación y Mantenimiento.
5. Estándares Mecánicos.
6. Vibración inducida por flujo.
7. Relaciones Térmicas.
8. Propiedades físicas de los fluidos.
9. Información general.
10. Buenas prácticas recomendadas.

El alcance de este proyecto, no define el estudio de las vibraciones obtenidas por los flujos.

### 7.1.2 Tipos de intercambiadores

Los intercambiadores de tubos y coraza, están compuestos por dos cabezales (que pueden ser fijos o extraíbles) y un cuerpo (donde se encuentran los tubos). La figura 26 muestra un intercambiador del tipo AES, con su cuerpo en amarillo y sus cabezales en verde.

**Figura 26**  
*Componentes del intercambiador*



*Fuente:* Elaboración propia.

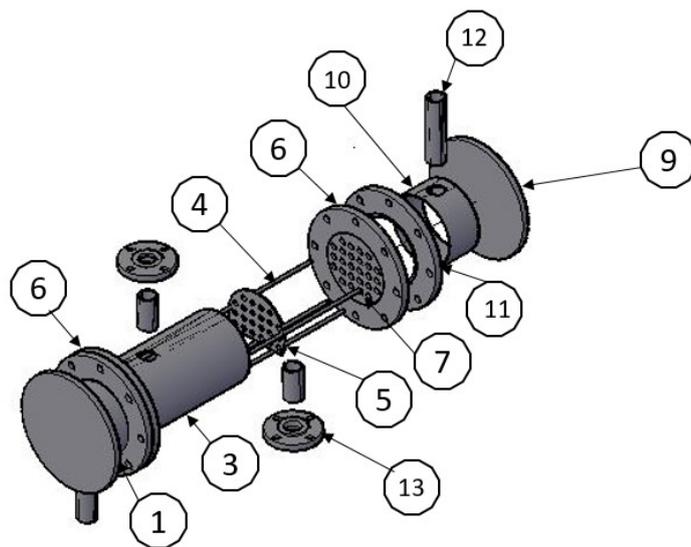
Dependiendo de la aplicación, la asociación de fabricantes de intercambiadores de calor los define en tres categorías:

- Intercambiador tipo R: usados en condiciones de operación severas. Por ejemplo, en procesos petroleros.
- Intercambiadores tipo C: usados en aplicaciones industriales y comerciales.
- Intercambiador clase B: son usados en procesos químicos.

### 7.1.3 Componentes

Los elementos del intercambiador del tipo tubos y coraza son se muestran en la figura 27.

**Figura 27**  
*Elementos de un intercambiador de tipo y coraza*



- Coraza
- Cilindro de coraza (3).
- Barras de soporte (4).
- Deflectores (5).
- Bridas de conexión (6)
- Los espejos (7).
- Tubos (8)
- Cabezal (2)
- Tapa (9).

- Cuerpo (10).
- Bridas de conexión (11).
- Boquillas (12).

La coraza generalmente es de forma cilíndrica, con bridas soldadas en sus extremos. Estas permiten el montaje del cabezal y un mantenimiento correcto del cuerpo del intercambiador.

El cabezal (elemento desmontable) está formado por un cuerpo cilíndrico con bridas, al menos en uno de sus extremo (puede presentar una tapa plana o elíptica). Si el intercambiador posee más de un paso, se utiliza una placa separadora de tubos. Los espejos tienen forma circular y presentan un patrón de orificios para la fijación del haz de tubos.

La sujeción de los tubos a los espejos puede ser:

- Por soldadura.
- Por mandrilado.
- Por ambos métodos.

Los tubos están unidos a los espejos, que sirven como soporte estructural de los mismos y pueden presentarse en diferentes arreglos (triangular o cuadrado). Para prevenir la flexión y la vibración de los tubos se utilizan los deflectores, cuya cantidad, distancia y área se calcula por medio especificaciones de TEMA. Las bridas y las boquillas son elementos estándares que dependen de las condiciones de trabajo. “Si las boquillas a instalar en el cabezal o en su canal requieren de refuerzo y el espacio no lo permite, se requiere aumentar el espesor de todo el canal hasta el valor requerido para el refuerzo” (Hernandez, 2019).

#### **7.1.4 Tipos de configuración de cabezales**

Los estándares, TEMA en su sección 4.1 recomienda los distintos tipos de configuraciones para los intercambiadores:

**Tubo recto y placa tubular:** Es un diseño simple y económico. La placa tubular está soldada a la coraza y los cabezales están atornillados a la placa tubular. Dentro de esta categoría encontramos a los BEM, AEM, NEN. Presentan deficiencia en el mantenimiento (limpieza) sobre la coraza y son especialmente usados en la transferencia de calor para líquidos

con un bajo factor de coeficiente de ensuciamiento. La diferencia de temperatura a la que trabaja el intercambiador no debe producir esfuerzos por dilatación térmica.

**Cabezal flotante con anillo:** son intercambiadores donde el paquete de tubos es extraíble y es usado frecuentemente cuando los valores de los coeficientes de ensuciamiento son altos. Además, es adecuado para fluidos volátiles o peligrosos. Dentro de esta categoría encontramos a los intercambiadores del tipo AES y BES.

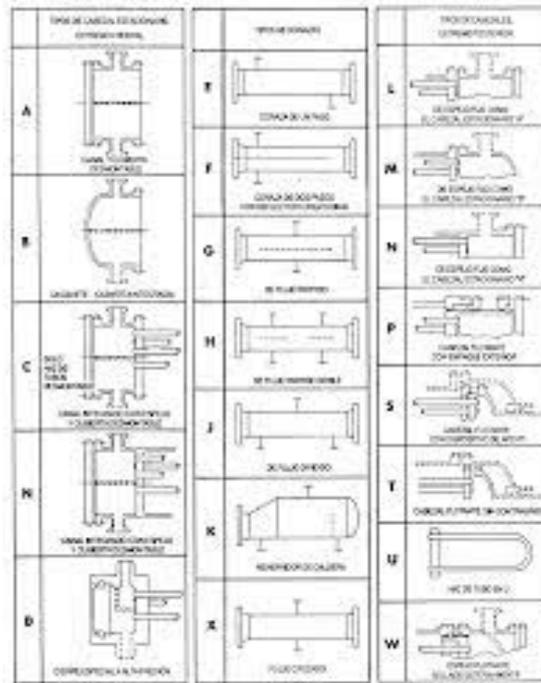
**Cabeza flotante extraíble:** En estos intercambiadores el paquete de tubos de este tipo extraíble (se extrae junto con la placa portatubos). Con esta configuración, el cabezal flotante permite la expansión térmica y operaciones de limpieza constante. Dentro de esta categoría encontramos AET y BET.

**Cabezal extraíble con tubos en U.** Se caracteriza porque los tubos tiene la capacidad de dilatarse y contraerse independientemente. Son usados en aplicaciones de alto choque térmico. Entran en esta categoría BEU y AEU.

**Diseños especiales:** Los diseños especiales no están cubiertos por el estándar y pueden describirse como mejor se adapte al diseñador. Para estos casos TEMA, hace una serie de recomendaciones en cada uno de sus capítulos.

La siguiente tabla muestra las distintas configuraciones de los cabezales, y el cuerpo del intercambiador.

**Figura 28** *Configuraciones de los intercambiadores*



Nota: Adaptado de Standards of tubular exchanger (p.10), TEMA,2007.

### 7.1.5 Elección del fluido que circula por la coraza y tubos

La elección del fluido que circula por el interior de los tubos depende de las condiciones siguientes:

1. Propiedades corrosivas del líquido: es conveniente que los líquidos corrosivos circulen por los tubos.
2. Temperatura del líquido: Para aumentar la eficiencia energética, los fluidos calientes deben circular por los tubos.
3. Viscosidad del líquido: Los fluidos más viscosos circulan por el exterior de los tubos ya que aumenta el grado de turbulencia en el interior de los tubos, lo que permite la transferencia de calor.

### 7.1.6 Factor de incrustación

El rendimiento del intercambiador disminuye con el tiempo debido a los depósitos de contaminantes sobre la superficie de los tubos. Estos depósitos forman una barrera que actúa como un aislante térmico y una resistencia adicional para la transferencia de calor. El tipo más común de incrustación es la precipitación de depósitos sólidos que se encuentran en un fluido sobre las superficie de los tubos. Otra forma de incrustación, es la corrosión y la incrustación química.

**Figura 29**  
 Factores de incrustación

Fluido	$R_f, m^2 \cdot ^\circ C/W$
Agua destilada, agua de mar, agua de río, agua de alimentación para calderas:	
Por debajo de 50°C	0.0001
Arriba de 50°C	0.0002
Combustóleo	0.0009
Vapor de agua (libre de aceite)	0.0001
Refrigerantes (líquido)	0.0002
Refrigerantes (vapor)	0.0004
Vapores de alcohol	0.0001
Aire	0.0004

*Nota:* Adaptado de Transferencia de Calor (p.636), Yunus Cengel, 2011, Mc Graw Hill Educación.

“El factor de incrustación depende de la temperatura de operación y de la velocidad de los fluidos, así como de la duración del servicio” (Barreras, 2018, pág. 23). Su valor será más alto al aumentar la temperatura y disminuir la velocidad de circulación de agua. En la figura 29 se obtienen los valores del factor de incrustación representativos.

### 7.1.7 Diámetro y longitud de los tubos

Su valor depende del área de transferencia. Su selección debe hacerse según las medidas normalizadas y el valor de BGW<sup>4</sup>.

#### Longitud de los tubos

La asociación de fabricantes de intercambiadores de calor menciona:

“Las siguientes longitudes de tubo para intercambiadores rectos y de tubo en U que se usan comúnmente son : 96 (2438 mm), 120 (3048 mm), 144 (3658mm), 192 (4877 mm) y 240 (mm). Se pueden utilizar otras longitudes ver Párrafo N-1.12” (TEMA, 2007, pág. 16).

Con estos valores, la capacidad térmica del intercambiador queda sobredimensionada. Por lo tanto se usará la longitud, técnicamente aprovechable.

<sup>4</sup> BWG: Es la abreviatura del sistema Birmingham Wire Gauge, es una norma empleada para especificar el grueso (diámetro) del alambre o hilo, tiras y tubos metálicos, adoptado en Gran Bretaña a partir del 1884 y a continuación utilizado para estandarizar las medidas.

### 7.1.8 Número de pasos por los tubos

El número de pasos se elige con la finalidad de obtener un flujo turbulento manteniendo velocidades del fluido razonable. Se establece por medio de la cantidad de tubos y del número de Reynolds. El valor del número de Reynolds deberá verificar la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{4mn_p}{\pi d_i n_t \mu} > 10^4$$

Siendo Re= número de Reynolds; m= caudal másico,  $n_p$  número de pasos,  $d_i$  diámetro interno,  $\mu$  viscosidad del fluido que circula por los tubos.

El número de pasos será entonces el valor más próximo al requerido por la ecuación anterior.

### 7.1.9 Caudal másico

Para determinar la cantidad de tubos se requiere conocer el calor del caudal másico necesario para lograr la transferencia de calor. El mismo se determina a partir del caudal volumétrico y depende de la densidad. Para este trabajo la densidad se considera constante en todo el circuito de intercambio y se obtiene por medio de tabla 16.

El valor del caudal volumétrico es equivalente al del tramo principal de agua fría, (calculado en la sección 12). El flujo de agua por los intercambiadores se resume en la siguiente tabla.

**Tabla 4**

*Distribución de caudales*

Intercambiador del equipo central de agua fría.	Coraza	Alimentación	Agua fría proveniente del equipo central de frío.
		Retorno	Agua caliente para el equipo central de frío.
	Tubos	Alimentación	Agua caliente de las unidades fan coils.

		Retorno	Agua fría al tramo principal de red de alimentación de agua.
Intercambiador del enfriador evaporativo	Coraza	Alimentación	Agua fría proveniente del enfriador evaporativo
		Retorno	Agua caliente para el enfriador evaporativo.
	Tubos	Alimentación	Agua caliente de la unidades fan coils.
		Retorno	Agua fría al tramo principal de red de alimentación de agua.

#### 7.1.10 Viscosidad

La transferencia de calor en el intercambiador es en su mayoría por convección y debido a que en los tubos la temperatura varía de acuerdo al gradiente térmico, también lo hará la viscosidad, esto afectará la transferencia de calor. Para este diseño se considera un flujo estacionario, asumiendo un valor de viscosidad constante, a la temperatura media logarítmica calculada.

#### 7.1.11 Velocidad del fluido

El trabajo de Martínez Diego, sobre el prototipo de un intercambiador de calor menciona:

“Es conveniente mantener la velocidad del fluido en un intervalo de  $0.914 \text{ m/s}$  a  $2.348 \text{ m/s}$ . Los valores por debajo de este rango, aumentan el ensuciamiento. Valores por arriba de este intervalo, pueden causar erosión” (Martinez, 2017, pág. 46).

#### 7.1.12 Coeficientes de transferencia de calor

Para el diseño de los intercambiadores se requiere el uso de los siguientes coeficientes de transferencia de calor:

- Coeficiente global de transferencia: hace referencia a la capacidad del intercambiador para transferir calor desde el fluido que circula por el interior de los tubos al que lo hace por la coraza.
- Coeficiente de transferencia limpio: Se calcula para tener una estimación del coeficiente de transferencia total de calor. Su valor se obtiene de tablas, usando las propiedades físicas del líquido que circula por el tubo y el que circula por la coraza.
- Coeficiente global requerido: Su cálculo se realiza por medio del coeficiente global de transferencia limpio, y del área total necesaria para la transferencia de calor. Su valor depende de la diferencia logarítmica de temperatura y la cantidad de calor neta a transferir.

## 7.2 Elección de materiales

En esta sección se explica el criterio usado para la selección de los materiales en el diseño de los intercambiadores. El estándar TEMA ofrece en su capítulo cinco, una variedad de materiales para la construcción de estos equipos. Pero su selección depende de los siguientes factores:

- Factores mecánicos.
- Corrosión.
- Dilatación térmica del acero.
- Soldabilidad.

Para que el intercambiador de calor alcance el rendimiento deseado es necesario que la conductividad térmica del material de los tubos sea la mayor posible. Entre los materiales que cumplen esta característica y son usados en la construcción de intercambiadores son:

- Cobre.
- Acero inoxidable.
- Aluminio.

En este proyecto se trabajará con acero inoxidable. Su clasificación y selección se explica en la sección siguiente.

### **Clasificación de aceros**

Los aceros pueden clasificarse según el contenido de carbono y de impurezas que lo conforman. Dada la gran variedad de aceros existentes se han creado normativas y reglamentaciones que varían en distintos países. Las más importantes que podemos encontrar en la industria son:

- UNE (acrónimo de Una Norma Española).
- AISI (American Iron and Steel Institute).
- ASTM (American Society for Testing and Materials).
- DIN (Estandares Alemanos).
- ISO (International Organization for Standardization).
- SAE (Society of Automotive Engineers).

En este proyecto se trabajará con la normativa AISI. Esto facilita los cálculos, ya que la bibliografía se encuentra bajo esta norma.

### **Normas AISI**

En estas normas los aceros se clasifican con cuatro dígitos. El primer dígito especifica la aleación principal, el segundo modifica al primero y los dos últimos dígitos, dan la cantidad de carbono en centésimas. La norma AISI es también conocida por ser una clasificación de aceros y aleaciones de materiales no ferrosos.

### **Aceros para la construcción de intercambiadores:**

Los intercambiadores en este proyecto se diseñan con acero AISI 304, por ser el más común en la industria vitivinícola. Debido a que el acero inoxidable 304 contiene 18% de cromo (Cr) y 8% de níquel (Ni), posee buenas características de soldabilidad, resistencia a la corrosión, resistencia a baja temperatura y excelentes propiedades mecánicas. El acero inoxidable 304L es la versión baja en carbono 304. Como una alternativa, se considera también el uso de:

Aceros inoxidables 316: es mejor que el grado 304 en cuanto a propiedades, resistencia a la corrosión y resistencia al calor. Sin embargo, el precio de este tipo de aceros es superior al del 304.

“Los aceros inoxidables al bajo carbono son más costosos que el acero 304 normal, no obstante, el costo adicional evita la corrosión e incluso nos permite usar técnicas convencionales de unión” (Askeland, 2012, pág. 874).

**Tubos:** El material seleccionado para la construcción del haz de tubos es Acero AISI 304. La elección se fundamenta en:

- Velocidad de circulación del agua en el interior de los tubos.
- Corrosión electroquímica en área de unión con las otras piezas.
- Factor de ensuciamiento.

El proveedor ofrece dos tipos de tubos que se adaptan al diseño térmico:

- Sin costura para intercambiadores: ATSM A213 con tratamiento térmico de recocido.
- Con costura para intercambiadores: ATSM A249 con tratamiento térmico de recocido.

Los tubos con costura soportan mayor presión interior y disminuyen la posibilidad de corrosión, siendo aptos para la aplicación de este proyecto.

**Espejos:** el material utilizado para la construcción de los espejos será el acero AISI 304. La compatibilidad de la soldadura entre los aceros es aceptable. Sin embargo, para asegurar que no se produzca corrosión localizada la soldadura será protegida por pasivado químico. El grado de terminación de la pieza es fijo por el proveedor “Famiq”. El acabado superficial será un N4.

**Coraza:** los resultados del diseño térmico exponen que el diámetro de la coraza es de 203 mm. El material seleccionado para la construcción es acero inoxidable 304 sin costura, por recomendación del proveedor.

**Cabezal:** Será construido en su totalidad por acero 304. El cuerpo del cabezal tiene las mismas características que el material de la coraza, difiere solo en su longitud. Las tapas son de acero AISI 316, con terminación interior N7.

**Barra:** Las barras se seleccionan de acuerdo a la disponibilidad del proveedor. Su longitudes la distancia entre espejos considerando 2mm adicionales para su soldadura. Se usarán de barras trefiladas con aceros austenítico 304 de diámetro nominal de 3 mm debido a la compatibilidad de la soldadura y para prevenir los posibles efectos de corrosión.

**Bridas de conexión:** La conexión entre la red de agua de alimentación y retorno a los intercambiadores de calor se hace por medio bridas con diámetro nominal de 2 pulgadas del tipo split on.

**Bridas para los intercambiadores:** Para asegurar la correcta limpieza de los tubos y evitar que se forme una capa contaminante que reduzca la eficiencia de los mismos, los cabezales deben ser desmontables. Las bridas para esta función se encuentran estandarizadas según AISI B16.5 serán del tipo Split-on, con un resalte de cara de 1,6 mm. Esto asegura una correcta posición de la junta en el montaje. Su terminación superficial es fonográfica.

La coraza y el cuerpo se unirán mediante un “kit de bulones” (incluidos por el proveedor).

**Juntas para bridas:** El montaje del intercambiador requiere el uso de bridas para asegurar la estanquidad del flujo que circula en los tubos. En el mercado encontramos tres tipos de juntas:

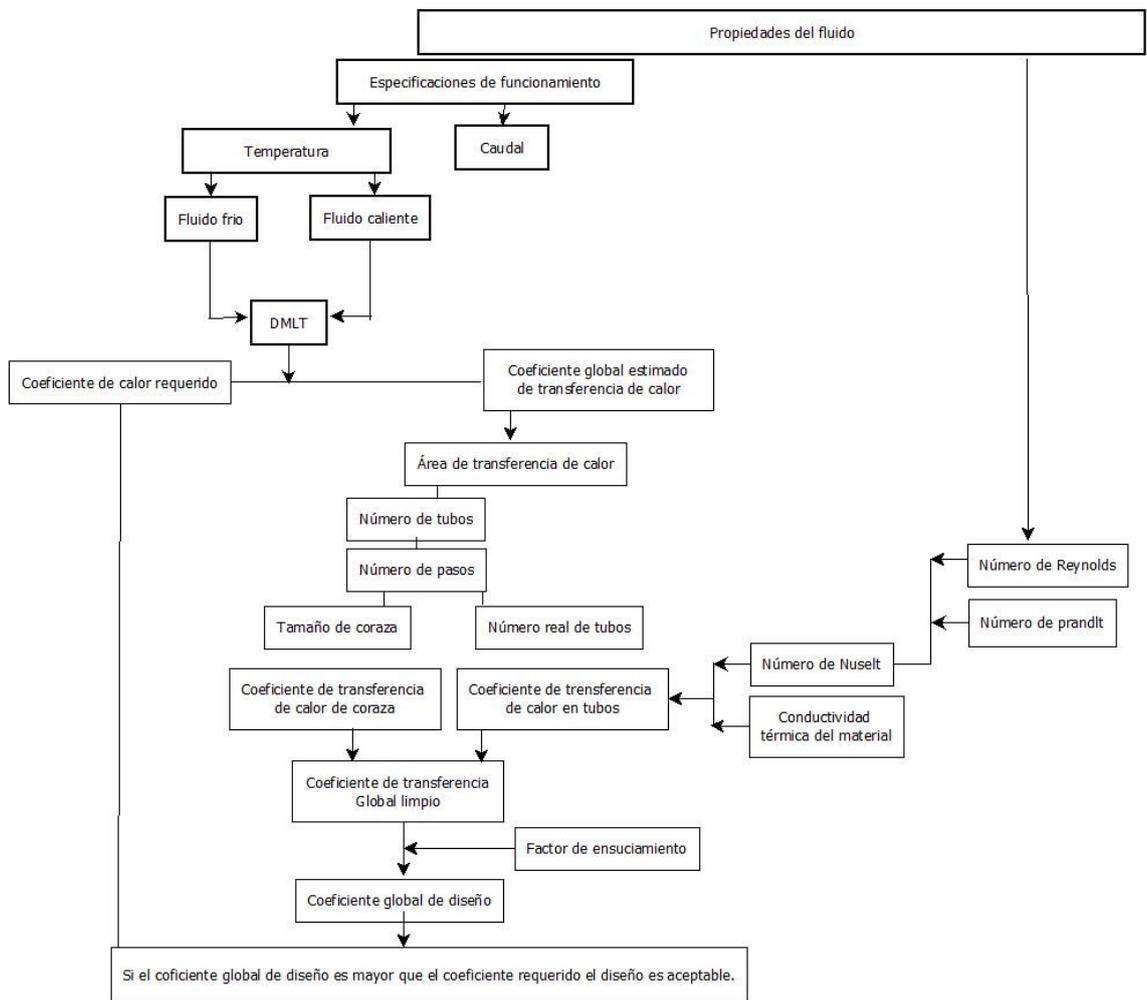
- Juntas del tipo FF.
- Juntas del tipo RJ.
- Juntas del tipo SS.

Las juntas se eligen de acuerdo al tipo de brida y las presiones de trabajo del intercambiador de calor. Para su selección se toma como base norma ASME B.16.20. En este proyecto se usarán juntas del tipo FF de 12 pulgadas.

### 7.3 Diseño térmico

Los intercambiadores se diseñarán bajo el criterio de la DMLT (diferencia media logarítmica de temperatura). Los detalles de este procedimiento se detallan en el libro (Serth, 2007, pág. 190). A continuación se muestra un esquema, para el diseño de los intercambiadores de acuerdo a este método:

**Figura 30**  
 Esquema de diseño de intercambiadores



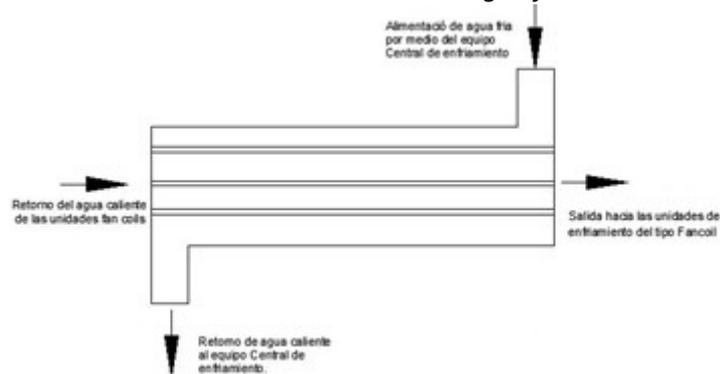
Nota: Elaboración propia.

### 7.3.1 Intercambiador de calor del enfriamiento de agua

Como se ha mencionado en las secciones anteriores, el intercambiador de calor del equipo de agua fría será el encargado de adecuar la temperatura del agua para alimentar las unidades fan coils. La figura 30 muestra un esquema de este intercambiador y la circulación del agua.

**Figura 31**

*Flujo de caudales en el intercambiador de la unidad de agua fría*



*Fuente: Elaboración propia.*

### **Especificaciones iniciales de diseño**

El fluido que circulará por el interior de los tubos a partir de las consideraciones hechas en la sección 7.2.4, provendrá de la red de distribución. Por la coraza circulará agua del circuito del enfriador actualmente instalado. Los factores de ensuciamiento requeridos serán iguales para el tubo y la coraza (figura 18).

Será necesario limpiar las superficies interiores de los tubos. Por lo tanto se seleccionó un intercambiador del tipo AEL (cabezales desmontables). Se usarán tubos pulidos de acero inoxidable AISI 304, 18 BWG de 1 pulgada. Se elige una longitud de tubo de 0.8 m (2.62pies). La disposición será cuadrada que permitirá la limpieza mecánica de la superficie exterior de los tubos.

Siguiendo las pautas de diseño, del libro (Serth, 2007, pág. 187) el número de pasos del fluido por la coraza, se computa por medio de la ecuación 14. Los deflectores estarán segmentados con un corte del 20 % y se establece un espacio de 0,3 diámetros de coraza.

Los deflectores adquieren rigidez mecánica mediante cuatro barras rígidas de acero AISI 304, de diámetro de 3 mm. La cantidad de barras se computa por el siguiente criterio: “por cada 10 filas de tubos, se colocará una tira de sellado, como requisito por el método simplificado de Delaware” (Serth, 2007, pág. 245).

El caudal de agua circulante por la coraza es proporcionado por una bomba, incluida en el equipo de enfriamiento de agua (sección 4.5). Para los tubos el flujo es causa de la bomba seleccionada para la red de distribución (sección 5.5).

La cantidad de calor a extraer se ha computado en la sección 3.7. Los apartados siguientes muestran un resumen del procedimiento de diseño del intercambiador de calor:

**Condiciones de entrada y de salida de los fluidos:** El intercambiador de tubo y coraza del enfriador de agua, se encargará de transferir la carga térmica generada en las unidades fan coils. La figura 31, muestra cómo se realiza el intercambio de calor según las condiciones de diseño. La unidad de enfriamiento, entrega agua a una temperatura de 5 °C y la restituye al circuito a 10 °C. Se estima que la temperatura de salida de las unidades fan coils será de 18 °C, y su entrada de 9°C.

Los caudales de agua en el intercambiador dependen de:

- El caudal necesario para alimentar las unidades fan coils, teniendo en cuenta las caídas de presión en las tuberías y dejando de lado las pérdidas en el propio intercambiador.
- El caudal suministrado por la unidad de enfriamiento de agua.

Debido a las características de regulación en las unidades fan coils, el caudal podría variar de acuerdo a las necesidades frigoríficas. Para el diseño del intercambiador se consideró el resultado obtenido en la sección 5.2.4. La diferencia media de temperatura logarítmica se computó con la ecuación 5.

a) La diferencia media de temperatura es afectada por el Factor F de corrección, que se obtiene mediante el uso de tabla 29, para la configuración del intercambiador el valor es de 0,9.

b) El valor de coeficiente estimado, para la aplicación de este intercambiador de calor se obtiene de tabla 24, conforme a estándares TEMA. Se adopta un valor de 250 BTU/h ft<sup>2</sup>°F.

c) Área de transferencia computada con la ecuación 12 es 137 ft<sup>2</sup> y del número de tubos por derivación de la formula anterior es igual a 52 tubos.

d) El número de pasos de los tubos se calcula según la sección 7.1.8, obteniendo como resultado 1 paso por intercambiador de calor con tubos de 1 pulgada BGW11.

e) Siguiendo los estándares de TEMA, el número real de tubos debe ser el más próximo al calculado por el área de transferencia de calor. El número resultante es de 52 tubos de 1 de

pulgada, con una distancia entre tubos de 1,25 pulgadas con un diámetro de coraza es de 12 pulgadas.

f) El coeficiente global requerido, se calcula como resultado de los valores obtenidos en el punto h. Su valor es de  $44.27 \text{ BTU/h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$ .

g) El coeficiente de transferencia de calor en los tubos, se computa como resultado de los valores obtenidos en el punto h; c; d, más el valor del número de Reynolds. El resultado es de  $1787 \text{ BTU/h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$ .

h) La cantidad de deflectores y el porcentaje de cobertura se computa con las tablas mostradas en la sección 12.8.1 con las condiciones planteadas en 7.1.8.

i) Con los valores obtenidos en el apartado h, se obtiene un valor de factor de Colombrun de 81,4.

j) Con el valor del número de Reynolds, y los datos obtenidos en el apartado g, se obtiene el coeficiente de transferencia por convección del lado de coraza. El resultado es de  $579.9 \text{ BTU/h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$ .

k) El coeficiente de ensuciamiento se obtiene de la tabla 3.3 “valores típicos del factor de ensuciamiento” (Serth, 2007, pág. 95) y su valor para este equipo es igual a:

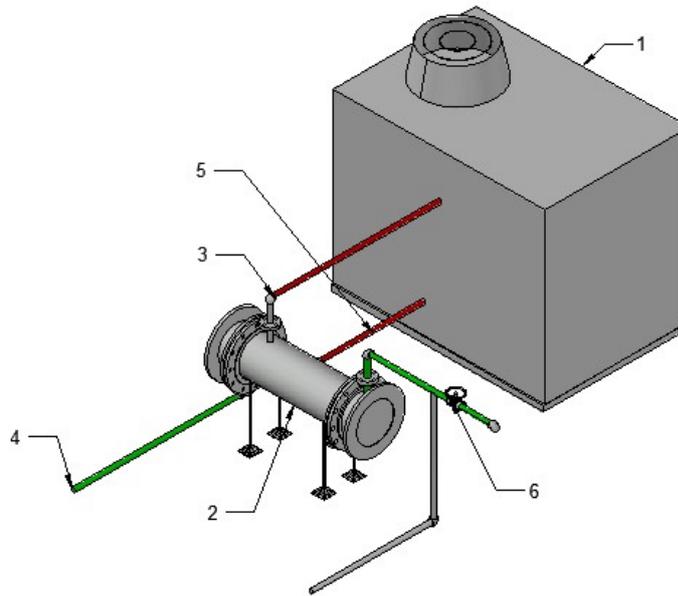
- Para los tubos: 0.001.
- Para la coraza: 0.001.

l) El factor de ensuciamiento tiene un valor de 0.0024.

m) El coeficiente global de se calcula con la ecuación 19, y es 50,39. El valor verifica la transferencia de calor. Un intercambiador de este tipo cumple con los requerimientos térmicos para lograr una transferencia de calor efectiva.

**Figura 32**

*Ubicación del intercambiador para la unidad de enfriamiento de agua*



*Nota:* 1, Equipo de agua fría. 2, intercambiador del equipo de agua fría. 3- Alimentación de agua fría. 4- alimentación al tramo principal. 5- Retorno al equipo de agua fría. 6- Retorno al tramo principal.

### 7.3.2 Intercambiador del enfriador evaporativo

El intercambiador de calor será del tipo tubo y coraza. La transferencia de calor será supuesta para la temperatura mínima del agua que se puede obtener en la región usando un enfriador evaporativo y la temperatura que retorna a las unidades fan coils. Los datos son extraídos de la estación meteorológica automática de Bodegas Etchart, ubicada a 3 km del emplazamiento, sirven para estimar la temperatura del agua Anexo III. Con estos valores y considerando la variabilidad del rendimiento (sección 4.3.1), se estimó la temperatura del agua promedio para un día de vendimia en la balsa del enfriador evaporativo.

El estudio mediante diagramas psicométricos demuestra que no es posible hacer que el enfriador evaporativo compense toda la carga de forma indirecta, por lo tanto, en este diseño se opta por suponer que la carga térmica podrá extraerse de forma parcial, utilizando el intercambiador de calor.

#### Datos de diseño

Para el intercambiador se estiman los siguientes datos de diseño:

- a) La temperatura de entrada en los tubo, es la del agua en la tubería principal de retorno. Su valor es igual a 18°C
- b) La temperatura resultante del intercambio de calor entre la corriente de agua proveniente del intercambiador evaporativo y el flujo de agua proveniente de las unidades fan coils. Se estima que su valor es de 9°C.
- c) La temperatura proveniente del agua refrigerada en el enfriador evaporativo. Se estima que su valor se encuentra en el rango de 10°C.
- d) La temperatura de retorno del agua al enfriador evaporativo se encuentra en el rango de los 17°C.

El proceso verificación térmica se realizó de la misma forma que la sección 7.2.1. El agua proveniente del circuito del enfriador evaporativo circulará por la coraza del intercambiador. Los factores de ensuciamiento requeridos serán distintos para el tubo y la coraza, como consecuencia del contacto con el aire en el intercambiador del evaporativo el coeficiente de ensuciamiento de la coraza será mayor.

Se selecciona un cabezal del tipo AES y tubos pulidos de acero inoxidable, AINSI 307. Las pautas de diseño indican tubos de 16 BWG de 3/4 de pulgada. La longitud de los tubos, varía de acuerdo a las medidas del cuerpo. Para evitar recalcular todos los parámetros, su valor se computa a partir de la diferencia media de temperatura en el equipo de enfriamiento evaporativo.

El haz de tubos estará en disposición cuadrada la cual permite la limpieza mecánica de la superficie exterior de los tubos. Siguiendo las pautas de diseño de TEMA, para tubos de 1 pulgada se especifica un paso de 1,25 pulgadas.

Se usará acero inoxidable AISI 307 para el diseño de la coraza. Los deflectores serán también del mismo material para evitar cualquier tipo de corrosión.

El caudal de agua que circula por la coraza proviene de la balsa del enfriador evaporativo, (sección 4.4.5) y por el interior de los tubos circula agua de la red de distribución principal. La diferencia media de temperatura de estos dos flujos, es afectada por el Factor F de corrección, (Tabla 31), cuyo valor es 0.9.

Los parámetros restantes, serán idénticos a los tratados en la sección anterior.

- a) La diferencia de temperatura media logarítmica computada para este intercambiador será de 2,72.
- b) El valor de coeficiente estimado, es de 250 BTU/h ft<sup>2</sup>°F.
- c) Área de transferencia de acuerdo a la sección 12.8.2 será de 129.5 ft<sup>2</sup> con 56 tubos.
- d) El número de pasos de los tubos se computa con los fundamentos de la sección 7.1.8, obteniendo como resultado 1 paso por intercambiador de calor, con tubos de 1 de pulgada, BGW11. En comparación con el intercambiador del enfriador de agua, puede aumentarse la cantidad de pasos. Esto trae como consecuencia una elevación de los costos, que no justifican una mejora en el rendimiento.
- e) El número real de tubos se selecciona con tabla 42. El número resultante es de 52 tubos de 1 pulgada, con una distancia entre tubos de 1.25 pulgadas. La disposición elegida es la cuadrada para poder realizar una limpieza correcta. El diámetro de la coraza es de 12 in.
- f) El coeficiente global requerido es de 47.51 BTU/h ft<sup>2</sup>°F.
- g) El coeficiente de transferencia de calor en los tubos, se calcula como resultado de los valores anteriores. Su valor es de 1787 BTU/h ft<sup>2</sup>°F.
- h) La cantidad de deflectores y el porcentaje de espacio que queda para el paso de agua fueron definidos en condiciones iniciales de cálculo. Como resultado se obtiene una distancia entre deflectores de 40 cm.
- i) Con los valores obtenidos en el apartado h, se alcanza un valor en el factor de Colombrun de 81,46.
- J) Con el valor del número de Reynolds y los datos obtenidos en el apartado g, se obtiene el coeficiente de transferencia por convección del lado de coraza que es 1300.
- k) El coeficiente de ensuciamiento se obtiene de la tabla 3.3 “valores típicos del factor de ensuciamiento” (Serth, 2007, pág. 95) y su valor para este equipo es igual a:

Para los tubos: 0.002

Para la coraza: 0.002

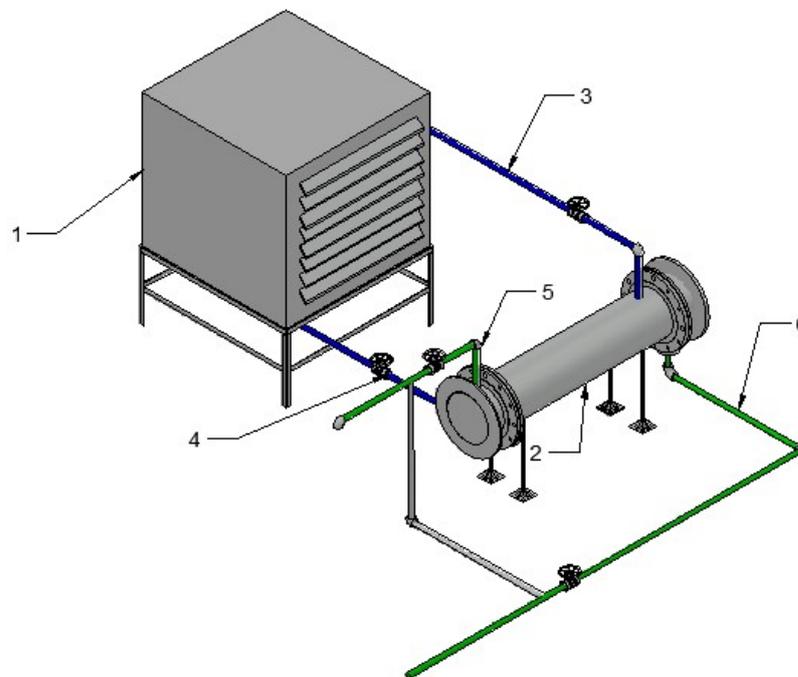
l) El factor de ensuciamiento toma un valor de 0.0046.

m) El coeficiente global de se calcula con la ecuación 19, y es 50,39. El valor verifica la transferencia de calor. Un intercambiador de este tipo cumple con los requerimientos térmicos para lograr una transferencia de calor efectiva.

n)- Los valores obtenidos verifican la desigualdad  $U_D > U_R$ , por lo tanto el intercambiador cumple con los criterios térmicos.

### Figura 33

*Ubicación del intercambiador para el enfriamiento evaporativo*



*Fuente: Elaboración propia.*

En la figura 33, se muestra el intercambiador TYCEE (tubo y coraza del enfriador evaporativo), conectado a la red de distribución de agua (en color verde) con sus tuberías de alimentación (6) y retorno (5). El agua procedente de la balsa del enfriador evaporativo ingresa a la coraza, por las tuberías de alimentación de (3) y el agua retorna por las tuberías de retorno (4).

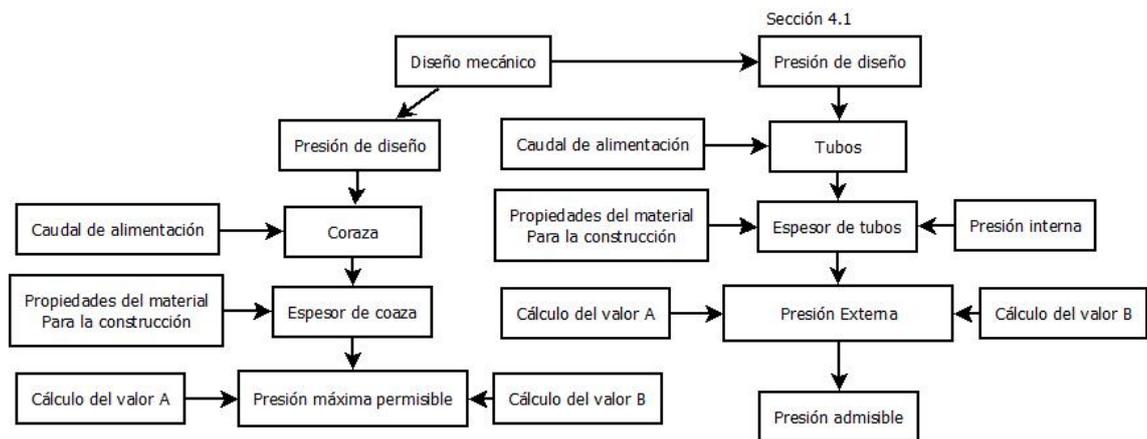
## 7.4 Verificación mecánica

Los materiales seleccionados para la construcción de los intercambiadores deben verificarse ante esfuerzos mecánicos producidos por las presiones de trabajo. En este proyecto se usará el método desarrollado por (Martínez, 2017).

El análisis requiere haber seccionado la bomba de la red de agua fría (sección 5.5) y la unidad de enfriamiento de agua (sección 4.3.6). El cálculo de las presiones se limita a estos dos elementos, sin embargo en el informe de Martínez Diego se proporciona información necesaria para la verificación de las boquillas. A continuación, se muestra un resumen del proceso de verificación mecánica ante esfuerzos:

**Figura 34**

*Esquema del diseño mecánico de un intercambiador de tubo y coraza*



Fuente: Elaboración propia.

La presión suministrada por la bomba de alimentación es de 30 mca ( $3 \text{ kgf/cm}^2$ ) y la suministrada por el enfriador de agua es 20 mca ( $2 \text{ kgf/cm}^2$ ). La coraza tiene una longitud igual a 1.2 m, es de acero inoxidable 304, con eficiencia de soldadura igual a uno, el espesor de la pared igual a 3 mm. La tensión admisible para los tubos será de  $106 \text{ kgf/cm}^2$  y de  $20 \text{ kgf/cm}^2$  para la coraza.

Aplicando la ecuación 5-115 (Martínez, 2017, pág. 72), el resultado del espesor mínimo del tubo para la presión de diseño es:

- Espesor mínimo del tubo por presión interna: 0,0003541 m (0,3mm).
- Espesor mínimo del tubo por presión externa: 0,000341 m (0,3mm).

Siendo el espesor del tubo elegido, superior al mínimo calculado, por lo tanto, cumple con los requerimientos de presión.

Para la coraza ecuación 5-58 (Martinez, 2017, pág. 59):

- Espesor mínimo del tubo por presión interna: 0,0003762 m (0,03mm).
- Espesor mínimo del tubo por presión externa: 0,000362m (0,03mm).

Siendo el espesor de la coraza 3mm (superior al mínimo calculado), por lo tanto cumple con el requerimiento de presión admisible.

## **7.5 Montaje**

Terminada la etapa de diseño, se planifica las actividades de ensamble de los componentes de los intercambiadores. Este proceso se dividió en tres etapas:

1-Montaje del cuerpo del intercambiador: consiste en una unión por soldadura, e incluye:

- Soldadura de cilindro, bridas y caños.
- Soldaduras de tubos, deflectores, barras y espejos.
- Montaje de espejos y tubos.

2-Montaje de los cabezales: Consiste en unión por soldadura de los elementos que componen la coraza e incluyen:

- Montaje de caños y tubo.
- Montaje de tapa.

3-Montaje del intercambiador: Consiste en una unión atornillada para unir el cuerpo y los cabezales, interponiendo una junta (sección 7.5.3).

Los métodos de unión para las piezas serán entonces:

- Unión por soldadura.
- Expansión por mandrilado.
- Unión por apreté con pernos.

### 7.5.1 Unión por soldadura

Los intercambiadores se encuentran diseñados en acero AISI 304. Los métodos comúnmente usados para las soldaduras de este metal son:

- Soldadura por arco manual con electrodo revestido.
- Soldadura TIG (del inglés Tungsten Inert Gas) para acero inoxidable.
- Soldadura MIG (del inglés Metal Inert Gas) para acero inoxidable.

La unión de todos los componentes metálicos se realizará con el método TIG, debido a que los cordones de soldadura son más dúctiles y más resistentes a la corrosión. El conjunto de aceros utilizados para la construcción de la coraza, los espejos y los cabezales es compatible con este tipo de soldaduras.

Para usar este método se requiere de mano de obra calificada. Las soldaduras de las piezas no necesitan bisel, debido a que ninguna de ellas supera el espesor de 3mm. Para las cañerías es necesario el uso de elementos adicionales que permitan mantener la pieza en su posición.

Los métodos de soldadura de cada una de las partes se resumen en el cuadro siguiente:

**Tabla 5:** Resumen de uniones por soldadura.

Unión soldada	Tipo de unión	Acabado	Angulo de bisel	Separación de la raíz	Longitud del cordón de soldadura
Barras deflectores	T	Nivel 4	45º	0,5 mm	478,5 mm
Deflectores-coraza	T	Nivel 4	sin bisel	0,5 mm	525,2 mm
Espejos deflectores	T	Nivel 4	sin bisel	0,5 mm	1276,9 mm
Bridas-caño	T	Nivel 4	sin bisel	0,5 mm	319,04 mm
Brida coraza	T	Nivel 4	45º	0,5 mm	319,4 mm
Cabezal-Brida	T	Nivel 4	sin bisel	0,5 mm	319,,04mm
Tapa cabezal	T	Nivel 4	sin bisel	0,5 mm	1276,9 mm

### Especificación de los cordones de soldadura

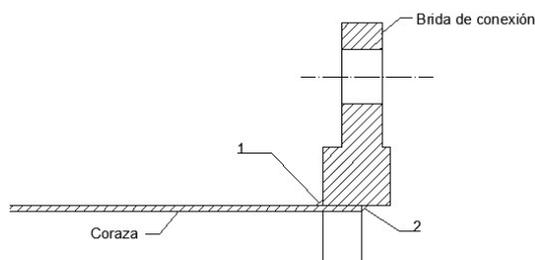
En este trabajo se aplica norma UNE EN 22553, para la especificaciones de las soldaduras. Esta norma tiene toda la información necesaria sobre el tipo, posición, longitud y profundidad de penetración.

Para el montaje del cuerpo con los cabezales serán necesarias cuatro bridas de 12 pulgadas, la disposición de las mismas se muestra en el plano 4.04. La unión entre el cilindro de coraza y la brida, se realiza con dos cordones de soldaduras (figura 35):

- 1) Cordón soldadura exterior: Su función es resistir el esfuerzo mecánico que se transmite al cuerpo del intercambiador. El cordón de soldadura quedará expuesto a la corrosión ambiental, por lo tanto, es preferible realizar un tratamiento de decapado para esta zona.
- 2) Cordón de soldadura interior. Su función es de sello, impidiendo el escurrimiento del agua.

### Figura 35

*Corte del intercambiador entre el cabezal y la coraza*



Fuente: Elaboración propia.

**Procedimientos de soldadura:** La unión por soldadura de las bridas y los tubos serán detalladas en hojas de especificaciones WPS, anexo V. Este documento proporciona información para asegurar una soldadura de calidad.

**Método de soldadura:** El método de soldadura seleccionado para la unión de piezas en el intercambiador de calor es TIG. La configuración de la junta para las uniones serán del tipo solape y tipo T.

**Preparación de la junta:** Para el proceso de soldadura de los deflectores, los bordes deberán ser eliminados con el fin de retirar los óxidos.

**Tolerancia de la junta:** La soldadura será manual, lo que permitirá corregir las irregularidades.

**Soportes:** Quedará a cargo del constructor la preparación de los soportes adecuados para cumplir con las especificaciones técnicas del intercambiador.

**Calidad en la soldadura:** una vez realizada la soldadura no será posible verificar el estándar requerido por la norma. Sin embargo, el constructor debe asegurar que ha cumplido las

especificaciones técnicas del documento WPS (Weldin Procedure Specification), adjuntado en el anexo V de este proyecto.

### 7.5.2 Soldadura de tubos y espejos

Los tubos se sujetan o se sueldan los espejos para proporcionan un sello adecuado. La unión entre tubos y espejos se realizará mediante soldadura TIG, después de la misma se expandirán los tubos medio de mandrilado.

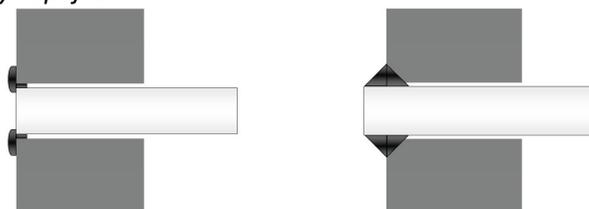
A medida que el equipo se encuentra en funcionamiento, puede producirse corrosión y causar fugas o debilitar la integridad de la unión. La expansión mecánica después de la soldadura de resistencia eliminará cualquier espacio que haya y evitará la corrosión. (Elliot, 2022)

La penetración de la soldadura, podrá ser:

- De sello: El objetivo es evitar el contacto entre las dos corrientes de fluido.
- De resistencia: pueden soportar cargas de tubos longitudinales y proporcionar estanqueidad. El agujero en el espejo contiene ranuras, que permiten la acumulación del relleno entre las piezas a unir.

**Figura 36**

*Tipos de unión a tubos y espejos*



*Nota:* Tomado de: Elliot tool technologies(5 de Mayo de 2022).Como expandir tubos soldados. [https://www.elliott-tool.com/es\\_AR/tubos-de-expansion-mecanica-con-soldaduras-de-sello-o-resistencia/](https://www.elliott-tool.com/es_AR/tubos-de-expansion-mecanica-con-soldaduras-de-sello-o-resistencia/)

El proceso de soldadura es del tipo TIG, requiere de mano de obra especializada. Como consecuencia los costos se elevarán. En este diseño, sólo se aplican soldaduras de sello.

**Expansión de tubos:** La expansión en los tubos tiene la función de deformar los extremos que poseen contacto con el espejo aumentando el diámetro y provocando deformaciones elásticas para aumentar la superficie de contacto entre las partes. Con este proceso se busca asegurar la estanquidad de los fluidos que circularán por la coraza y se realiza con una herramienta llamada expandidor, que se selecciona de acuerdo a:

- La ubicación de la pieza.
- Presión de mandrilado.
- Dureza de los espejos.

**Figura 37** Expandidor modelo M



*Nota:* Tomado de Herramientas para montaje y mantenimiento de equipos tubulares (p.7), NEPA.

Para el diseño se prefiere el uso de un expandido de tubo recto, preferentemente del modelo M que permite un ajuste “a todo lo ancho de la placa, apto para ser utilizado manualmente o mediante máquinas mandriladoras neumáticas o eléctricas con control de torque, para la construcción o reparación de intercambiadores de calor.” (Nemapa SA, 2010, pág. 6).

### **7.5.3 Unión del cuerpo al cabezal**

El ensamble de los cabezales con sus correspondientes cuerpos se realiza por medio de una unión de pernos, tuercas y arandelas. Entre ambas bridas se sitúa una junta o empaquetadura, que realiza la función de sellado de la unión.

Para este diseño se requiere de dos uniones bridadas que permitan realizar el mantenimiento correspondiente en el intercambiador de calor. Los tornillos tuercas y arandelas forman parte del kit que suministra el fabricante.

## 8 Planificación

### 8.1 Introducción

En las secciones anteriores se ha diseñado, verificado y desarrollado los procedimientos para seleccionar los equipos, destinados a aumentar la eficiencia del equipo de enfriamiento de agua. Para realizar una correcta planificación, en esta sección se definirá una secuencia de actividades que posteriormente permitirán ejecutar este proyecto. Las mismas son:

- a) Definición de mano de obra recursos y materiales.
- b) Construcción de intercambiadores y de la red de agua.
- c) Instalación de equipos.

### 8.2 Definición de mano de obra y costos

La mano de obra requerida para el montaje y construcción de los equipos se describe a continuación:

**Supervisor de obra:** Deberá realizar las inspecciones de los trabajos, coordinar los tiempos y ejecución de obra. Verificar la calidad, en la construcción de los intercambiadores y el funcionamiento general de la instalación. Se encargará de realizar los pedidos y coordinar los tiempos de entrega.

**Técnicos electromecánicos:** Deberán tener el conocimiento general en montaje de redes eléctricas e instalación de máquinas en general.

**Auxiliares para la construcción:** Deberán poseer conocimientos básicos de instalaciones sanitarias y uso de herramientas manuales.

**Albañil:** Deberá poseer conocimiento intermedio de construcción.

**Técnico en instalaciones sanitarias:** Con conocimiento de montaje en redes de agua fría y caliente. También en montajes de aislación de tuberías.

### 8.3 Pedidos

En esta etapa el supervisor de obra se encargará de confirmar la compra de los elementos necesarios para la ejecución de la obra.

Los elementos de construcción de los intercambiadores deben ser adquiridos en la ciudad de Salta por lo que el supervisor, deberá trasladarse para su adquisición y posterior traslado a la empresa constructora.

Deberá realizar los trámites necesarios para el alquiler y reserva de las herramientas. En especial el medio de movilidad para la ejecución de la obra.

### 8.4 Construcción

#### 8.4.1 Losa de apoyo

Para la instalación de los equipos exteriores se requiere la construcción de una base de hormigón de 0.12 m de espesor, la misma tendrá de una superficie de 8.5 m<sup>2</sup>, orientada con el lado mayor en la dirección de la pared noreste, como muestra el plano 2.01. No se requieren refuerzo por vibración. Se estima un periodo de construcción de 1 día y 5 días para el proceso de fraguado.

#### 8.4.2 Soportes de equipos

Los equipos utilizados en este diseño deben mantenerse a una distancia del suelo, debido a la transferencia de calor entre la corriente de aire y la proximidad de la base de hormigón.

El evaporador debe estar a una distancia superior a 30 cm, debido a la corriente de aire que puede arrastrar partículas de polvo que afecta la eficiencia del equipo.

**Soportes de intercambiadores:** La construcción estará a cargo de una empresa local. Las especificaciones se encuentran en el plano 2.05. El tiempo estimado de entrega es de 12 días.

**Soportes de la unidad fan coils:** La construcción, estará a cargo de una empresa local. Las especificaciones se encuentran en el plano 3.01. El tiempo estimado de entrega es 12 días.

**Soporte de unidad evaporativa:** La construcción, estará a cargo de una empresa local. Las especificaciones se encuentran en el plano 2.04.

### 8.4.3 Red de agua

La ejecución de la red de agua (alimentación y retorno) incluye la instalación de las tuberías en los tramos:

- a) Internos: para la alimentación y retorno de agua de las unidades fan coils.
- b) Externo: para alimentación y retorno del agua, a los intercambiadores de calor.

La instalación de la red de tuberías seguirá la siguiente secuencia de tareas:

- 1) Las tuberías de distribución de agua fría se construirán de acuerdo a las especificaciones de la sección 4. Los tramos se encuentran divididos en tres ramas. Es de preferencia, comenzar por la rama terciaria y las pequeñas uniones de derivación para las unidades fan coils. Como guía para el montaje de las cañerías en este tramo utilice el plano 2.02.
- 2) Los cortes en las tuberías, se realizarán de acuerdo al plano 2.04, evitando realizar los acoplamientos innecesarios.
- 3) La ubicación de los soportes será según lo estipulado en las especificaciones del plano 2.02.
- 4) Deberá realizarse el montaje de las válvulas y filtros en el tramo terciario.
- 5) Preparación la unidad para realizar la aislación con la capa de vapor o barrera de vapor. Se procederá a aislar los caños, para ello deberá realizarse una limpieza previa de los caños con un paño humedecido en agua.
- 6) Preparación la máquina elevadora de los soportes, junto con las unidades fan coils para instalarlos en el lugar previsto por el plano 2.02. El montaje el segundo tramo requiere la elevación de toda la cañería. El montaje de la rama principal requiere que previamente se hayan realizado las conexiones de las válvulas.
- 7) Instalación las unidades fan coils.

- 8) Montaje las mangueras de conexión flexibles para las unidades fan coils.
- 9) Montaje de la manguera de drenaje.
- 10) Instalación las unidades de filtros mecánicos.
- 11) Conexión externa de la bomba de alimentación de circuito.
- 12) Montaje las válvulas y ajuste de los pernos de sujeción.
- 13) Instalación de la aislación para las tuberías exteriores.
- 14) Limpieza del lugar de trabajo.

#### **8.4.4 Construcción de los intercambiadores**

En la sección 7.2 se han diseñado los intercambiadores de calor en base a los equipos seleccionados en el capítulo 4. En esta etapa se especificará la construcción de ambos intercambiadores. El procedimiento para la construcción implica las siguientes tareas:

**Compra y traslado de materiales:** Los materiales para la construcción de los intercambiadores, serán adquiridos en Famiq, un proveedor de la provincia de salta. Luego, estos materiales deberán ser trasladados a la empresa encargada de la construcción para su posterior mecanizado. Las operaciones realizadas en este taller serán:

**Corte de los deflectores:** Los deflectores deben ser cortados y perforados desde una placa de 40 x80 cm, de acero inoxidable AISI 307 L, de 1.2 mm. El corte preferentemente será por medio de láser.

**Mecanizado de los espejos:** Consiste en la perforación de la tapa 3 A 16 AMP, con una serie de brocas hasta llegar a la medida nominal de los tubos.

**Figura 38**

*Piezas de agarre del espejo, para su mecanizado*



*Nota:* Adaptado de Fabricación y validación de un intercambiador de calor (p.104), Rafael Flores, IPNM, 207

La posición de los agujeros esta detallada en el plano de especificaciones técnicas número 5.05 para el intercambiador del enfriador evaporativo y 4.05 para el intercambiador del equipo de enfriamiento de agua. Para el mecanizado el constructor asegura las piezas, mediante los dispositivos de fijación mostrados en la figura 38.

**Cabezales:** los intercambiadores poseen dos cabezales, unidos mediante pernos a la coraza. La fabricación de estos componentes está dividida en tres etapas:

a)-Mecanizado de las tapas: Las bridas ciegas utilizadas como tapas deberán mecanizarse para permitir la soldadura a bisel.

b) Agujereado de boquillas para la entrada del agua: Esta operación se realiza en una fresa vertical, deberá usarse brocas hasta llegar al diámetro de 2”.

c) Cortes de caño de 50 mm, con una longitud de 25 cm para la soldadura en los cabezales.

**Coraza:** La secuencia de tareas la construcción será la siguiente:

- 1- Realizar el corte del tubo de acero según las especificaciones técnicas de diseño sección 7. El corte será lo más limpio posible.
- 2- Deberá realizarse la perforación los agujeros de entrada y de salida (en los cuales serán soldados los tubos de 2 pulgadas).

- 3- Realizar un pasivado luego del proceso de soldadura.

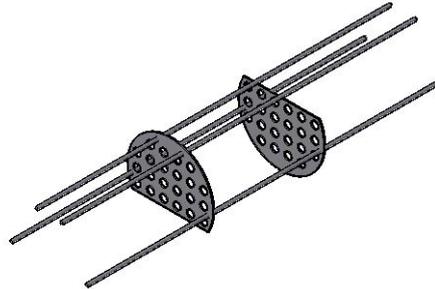
El ensamble se divide en dos partes:

1. Ensamble del cuerpo del intercambiador.
2. Ensamble de los cabezales.

**Ensamble del cuerpo del intercambiador:**

- 1) Ensamble de deflectores con barras espaciadoras: Las cuatro barras espaciadoras se colocan en los agujeros de los deflectores laterales. El ángulo entre las barras y los deflectores será de 90° y se unirán por medio de un punto de soldadura. La figura 39 muestra el resultado del montaje.

**Figura 39** Ensamble de barras y deflectores.

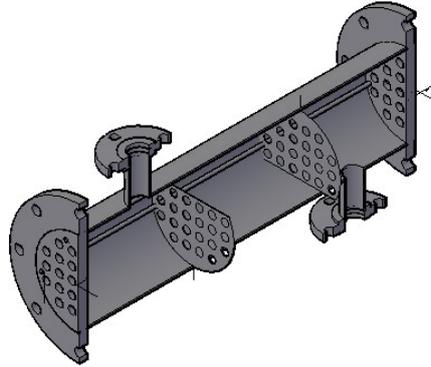


*Fuente:* Elaboración propia.

- 2) Montaje del conjunto deflector sobre el espejo: Deberá montarse el primer espejo, cuidando la disposición del deflector. La unión se hará de acuerdo a las especificaciones tratadas en el capítulo 7.
- 3) Montaje de tubos: Se ensamblarán los tubos sobre los espejos y posteriormente se realizará la soldadura. Luego se procede a la expansión según lo establecido en la sección 7.5.2.

**Figura 40**

*Seccionamiento del intercambiador de calor de tubo y coraza*



*Nota: Elaboración propia.*

**Cabezales:** La operación de corte del cilindro, genera dos piezas de la misma longitud, que serán maquinadas para poder obtener los cabezales.

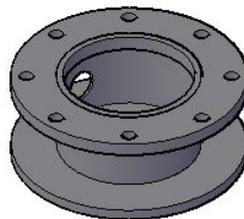
- 1) Perforado: se realizará un agujero de dos pulgadas, en una de las caras del tubo como lo muestra la figura.
- 2) La unión de las piezas se realizará por medio de soldadura, con tolerancias de 0.5 mm.

Este proceso consiste en:

- Soldadura de cañería de entrada y de salida de los tubos.
- Soldadura de la tapa trasera.
- Soldadura de bridas.

**Figura 41**

*Cabezal del intercambiador de tubo y coraza*



*Fuente: Elaboración propia.*

## 8.5 Transporte

Los distintos materiales y equipos para ejecutar el proyecto se adquieren en distintas localidades. En esta sección se menciona las posibles empresas encargadas de transportar

estos elementos desde el lugar de adquisición hasta la Bodega. El cronograma de tiempos estimado para el transporte de los equipos se trata en la sección 10.

**Transporte de las unidades fan coil:** El proveedor de las unidades fan coils se encuentra en la ciudad de Salta, se contratará una empresa privada para el traslado de estos elementos, hasta la bodega.

**Transporte de los soportes para los intercambiadores:** Al ser elementos construidos en la región, se usará un medio de transporte propio de la empresa<sup>5</sup>.

**Transporte de los soportes de unidades fan coils:** Al ser elementos construidos en la región, se usará un medio de transporte propio de la empresa.

**Transporte del enfriador evaporativo:** No son elementos que se encuentra en la región, por lo tanto, el transporte se encuentra a cargo de una empresa privada.

**Transporte de los intercambiadores de calor:** Los intercambiadores de calor serán construidos en la ciudad de Salta, el transporte estará a cargo de una empresa privada.

## 8.6 Instalación de equipos

Esta etapa se encuentra dividida en dos secciones. Instalación de cañerías e instalación del enfriador evaporativo:

- 1) La instalación de la red de cañerías involucra:
  - a. Construcción de la red de tuberías.
  - b. Instalación del intercambiador del enfriador de agua.
  - c. Instalación de la unidad de enfriamiento.
  
- 2) Instalación de la unidad evaporativa
  - a. Instalación del intercambiador del enfriador evaporativo.
  - b. Instalación de la unidad de enfriamiento evaporativo.
  - c. Conexión y pruebas de la red hidráulica.

---

<sup>5</sup> El transporte propio se describe en la sección 8.10.

### **8.6.1 Unidades fan coils**

Para extraer la carga térmica (sección 3) se usarán 8 unidades fan coils montadas a una distancia de 5.5 m del nivel del suelo, con una separación de 4 m entre cada unidad. Cuatro de estos equipos, se encontrarán sobre la pared suroeste y cuatro sobre la pared noreste. La secuencia de montaje será la siguiente:

- 1) Preparar el elevador y los soportes de las unidades fan coils para montarlos sobre la pared. La especificación de montaje de estos equipos, se proporcionan en el plano 2.01.
- 2) Ensamblar las unidades fan coils y realizar la conexión de red de agua fría, entre el tramo terciario y las tuberías flexibles, mediante uniones roscadas.
- 3) Elevar, perforar y ajustar el soporte sobre la pared.
- 4) Realizar las conexiones de los reguladores de presión a las unidades fan coils.
- 5) Instalación de la válvula de drenaje: válvulas de cierre en la unidad, para poder efectuar las tareas de servicio de carácter general sin tener que drenar el sistema.
- 6) Repetir el procedimiento para la conexión del resto de las unidades fan coils.

### **8.6.2 Enfriador de agua**

El enfriador de agua actualmente se encuentra situado en proximidades de la pared noreste. Para la ejecución de proyecto se trasladará el equipo en inmediaciones la pared sureste. El traslado se hará con un autoelevador propio de la empresa. El montaje en la nueva ubicación se realizará de acuerdo a las indicaciones del manual del fabricante, sobre la base de hormigón próxima a la pared sureste y con una distancia entre equipos es igual a un metro. Esta permitirá la circulación correcta del aire por el condensador y proporciona un espacio suficiente para el acceso a los componentes del sistema.

La alimentación eléctrica será subterránea y proviene de un tablero seccional ubicado en las proximidades del equipo.

## 8.7 Enfriador evaporativo

La instalación del enfriador evaporativos se realizará de acuerdo a las especificaciones del fabricante<sup>6</sup>.

El modelo elegido tiene salida lateral de aire, sin conductos. Se encontrará montado sobre una base de caño estructural, que lo separa del suelo una distancia de 50 cm y se estará fijado por medio de 16 tornillos a la misma. El funcionamiento no provoca niveles de vibración que puedan perjudicar el anclaje al soporte (unión atornillada). Su instalación estará próxima a la red de alimentación de agua y la alimentación eléctrica se hará por medio de cables subterráneos. La secuencia de tareas para el montaje, es la siguiente:

- 1) Perforación para de la base de hormigón.
- 2) Armado de la red de tuberías de conexión de conexión de agua de red.
- 3) Instalación del soporte de los enfriadores.
- 4) Preparación del auto elevador para colocar el equipo en su posición.
- 5) Instalación del equipo.
- 6) Conexión al intercambiador de calor por medio de bridas.

### 8.7.1 Instalación del intercambiadores

Los intercambiadores estarán instalados sobre un soporte de caño macizo (figura 42), para evitar las corrientes de aire caliente procedentes de la base de hormigón. La misma estará anclada mediante 16 tornillos, de 2 ½ de pulgadas. La ubicación permite realizar el mantenimiento y deja espacio para el acoplamiento de las bombas centrifugas. La secuencia de tareas es la siguiente:

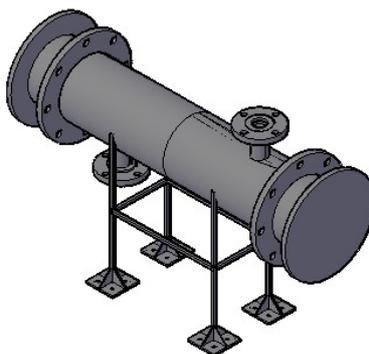
- 1) La base de hormigón, donde se instalar los equipos debe encontrarse preparada.
- 2) Perforación de los agujeros e instalación del sistema de fijación de los soportes del intercambiador.
- 3) Instalación del soporte para los intercambiadores de calor.
- 4) Instalación del intercambiador propiamente dicho: Al instalar los intercambiadores en su posición debe verificar que su ubicación quede de acuerdo con el plano 2.02.

---

<sup>6</sup> Manual de instalación de equipos evaporativos MET MAN.

- 5) Conexión del intercambiador a la red de tubería. Las tuberías exteriores serán construidas en acero inoxidable aislado con coquillas de espuma elastomérica. Las uniones serán del tipo bridada para el intercambiador y para la bomba.
- 6) Montaje de los cabezales y apriete.

**Figura 42**  
*Montaje del intercambiador*



*Fuente:* Elaboración propia.

La proximidad a la red de agua, hacen posible la reposición en el circuito de alimentación y retorno.

#### **Instalación de la bomba.**

La bomba se ubicará preferentemente como se muestra en el plano 2.02. La misma conecta la red de distribución de agua con los intercambiadores. La unión entre la bomba y el cabezal se realiza por medio de bridas con maguitos roscados del tipo DIN, que conectan la salida de la bomba a una tubería de PPR de 2 pulgadas. Se utilizará tuberías de PPR, para reducir el costo de instalación y la transferencia de calor.

En el lapso de tiempo estimado para el mantenimiento de los intercambiadores, habrá un desplazamiento de la bomba en conjunto con el cabezal. Para proceder a extraer la bomba del conjunto será necesario aflojar las bridas de conexión.

#### **8.7.2 Consideraciones sobre el montaje**

Las uniones de los conductos encargados de transportar el agua red de será del tipo termofusión y requieren de una termofusora, precalentada a la temperatura indicada por el catalogo del fabricante.

La fuente de alimentación para la termofusora se encuentra aproximadamente a 10 metros, el tiempo de calentamiento y penetración de la boquilla se muestra en la tabla 24. El montaje se hará en el nivel del suelo dejando las conexiones para los trabajos en altura.

La construcción del tramo secundario se realizará en altura y consistirá en la unión de la tubería pasante por la pared y la sección principal de alimentación. Se usará una distancia media de 1.50 sobre el nivel del suelo, con plataforma elevadora.

**Figura 43**

*Plataforma elevadora*



## 9 Análisis económico

### 9.1 Introducción

El objetivo de realizar el estudio económico es analizar la viabilidad de la inversión al incorporar el enfriador evaporativo y los intercambiadores de calor diseñados, a la instalación de agua fría existente.

Para el análisis económico la inversión necesaria se dividirá en las siguientes subsecciones:

- 1) Material del intercambiador.
- 2) Costo de las instalaciones.
- 3) Transporte.
- 4) Herramientas de instalación.
- 5) Mano de obra.

Los presupuestos fueron evaluados en el mes de marzo del año 2021, con una tasa de cambio de 1\$USD igual a \$AR125. En el momento de ejecución de la obra se requerirá actualizar este valor.

### 9.2 Costo de materiales

Para ejecutar el proyecto se requiere la construcción de dos intercambiadores y una red de distribución de agua. Los materiales necesarios se describen en las siguientes subsecciones.

#### 9.2.1 Intercambiadores

Los intercambiadores fueron diseñados con características constructivas similares (sección 6.3), con diferencias en sus longitudes en la coraza. En este capítulo se hace un tratamiento general para la adquisición de los materiales para la fabricación de:

- Intercambiador de calor del equipo de enfriamiento de agua.

- Intercambiador de calor del enfriador evaporativo.

Los componentes del intercambiador se describieron en la sección 7.2, los costos de los materiales para su construcción son:

**Canal de coraza:** Será de acero inoxidable AISI 304 con diámetro nominal de 304.8 mm, espesor de pared de 2 mm y largo de 1200 mm. Presión de trabajo de  $26,25 \frac{kg}{cm^2}$ . Precio: **\$AR 95000**. Proveedor: Famiq (Salta capital).

**Tubos:** Serán tubos redondos sin costura, pulidos, de acero AISI 304 de 25,4 mm de diámetro y con un espesor de 1 mm. Se comercializa por 3 metros. Se requieren para la construcción 11 tubos de 6 metros de longitud. El total **\$AR92537**.

**Tapa de coraza:** Se usarán como tapas dos bridas ciegas de acero 304, de 12 pulgadas. Para la fabricación de los cabezales son necesarias dos unidades requeridas por un costo total de **\$AR100000**.

**Chapa para deflectores:** Se usarán chapas rectangulares de acero AISI 304, de dimensiones 40 cm x 80 cm y con espesor de 1.2mm. Precio **\$AR 9500**.

**Tapas clamp.** Serán usadas la fabricación de los espejos. Tienen un diámetro nominal de 12 pulgadas y son de acero inoxidable AISI 304. Son necesarias 2 unidades con un costo total de **\$AR 50343**. Proveedor Famiq.

**Caño de conexión (boquillas):** Serán de acero inoxidable AISI 304 de 1.5 mm de espesor y con un diámetro nominal de 50 mm. Se requiere 1,2 m de tubería. El importe es de **\$AR 3799**.

**Bridas de conexión:** Se requieren 4 bridas para la conexión entre los cabezales y la tubería de distribución de agua. De acuerdo a la sección 7, estas bridas tienen un diámetro nominal de 48,3mm, con terminación superficial 125 Ra. El precio es de \$AR 5000, por unidad. El costo total de estas bridas será de **\$AR 20000**.

Para la conexión ente los cabezales y el cuerpo del intercambiador, se eligen cuatro bridas del tipo Split on. Estas bridas se encuentran normalizadas por normas AISI B16.5. Comercialmente las características y el costo de las bridas son las siguientes:

Bridas de acero inoxidable 304, tipo slip on diámetro y de diámetro nominal de 304 mm, con terminación superficial de 125 micro pulgadas. El precio por unidad es de \$AR 85000. Por cada intercambiador se necesitan 4 unidades con un costo total de \$ **AR340000**.

El costo estimado de materiales para el intercambiador para la unidad de enfriamiento de agua será de \$ **AR 746372**.

El costo estimado de materiales del intercambiador del enfriador evaporativo de agua será de \$ **AR 746372**.

### 9.2.2 Red de tuberías

Los materiales para la red de distribución de agua de alimentación y retorno pueden conseguirse con proveedores locales. El proveedor seleccionado es “ferretería primero de mayo”. En la tabla 6, se muestra el presupuesto de materiales:

**Tabla 6** Costo de materiales de la red de agua

Tubería de alimentación						
Material	cantidad	Cantidad	Marca		Precio por unidad	Total
Caño	12	2	Hidro 3	Temofusion	1300	2600
Caño 1"	24	4	Hidro 3	Temofusion	1690	6760
Caño 2"	18	3	Hidro 3	Temofusion	1900	5700
T de paso recto 3/4"		6	Hidro 3	Temofusion	450	2700
T Recto 1"		4	Hidro 3	Temofusion	500	2000
T paso recto 2"		2	Hidro 3	Temofusion	550	1100
T derivacion (45º) 1"		4	Hidro 3	Temofusion	500	2000
Valvulas 3/4		8	Hidro 3	Temofusion	600	4800
Codos		14	Hidro 3	Temofusion	375	5250
Adaptador de conexión		8	Hidro 3	Temofusion	400	3200
Filtro metalico		4	Hidro 3	Temofusion	1800	7200
Valvula de toma de medicion		2	Hidro 3	Temofusion	750	1500
						44810
Tubería de retorno						
Caño 1"		8	Hidro 3	Temofusion	1690	13520
Caño 2"		15	Hidro 3	Temofusion	1900	28500
T de paso recto 1"		6	Hidro 3	Temofusion	500	3000
T paso recto 2"		2	Hidro 3	Temofusion	550	1100
Valvulas		8	Hidro 3	Temofusion	600	4800
Codos		14	Hidro 3	Temofusion	375	5250
Adaptador de conexión		8	Hidro 3	Temofusion	400	3200
						59370
Total						104180

### 9.2.3 Red eléctrica

La red eléctrica no fue planificada en este proyecto. Pero sus costos se estiman alrededor de **\$AR 90000**.

### 9.3 Costo de equipos

Los equipos necesarios para llevar a cabo este proyecto se definieron en la sección 3. En las siguientes secciones se analizan los costos de adquisición.

#### 9.3.1 Unidades fan coils

Las unidades fan coils, serán adquiridas en DENKI INGENIERIA, distribuidor de Carrier. Este producto tiene un lapso de entrega de 15 días. El valor estimativo de cada unidad es de \$AR 49000. El costo total de estos equipos es de **\$ AR392000**.

#### 9.3.2 Equipo de enfriamiento de agua

El equipo usado para este proyecto tiene una potencia térmica de 25 TR. El mismo deberá ser reubicado en las proximidades de los intercambiadores de calor. Se estima un costo de traslado de **\$AR 7500**.

### 9.4 Costos de los soportes

**Soporte de unidades fan coils:** Los soportes para las unidades fan coils serán construidos por la metalúrgica Morano, (empresa local) el costo de construcción por cada soporte es de **\$AR 4000**. El total por la cantidad de soportes será de **\$AR 32000**.

**Soporte del enfriador evaporativo:** Los soportes de la unidad evaporativa es construidos por la metalúrgica “Morano”, (empresa local) el costo de construcción por el soporte es de **\$AR 15000**.

**Soporte del intercambiador:** Los soportes de los intercambiadores de calor serán construidos por una empresa local, con el aporte de material. El precio estimado para la construcción de estos soportes es de **\$AR 16000**.

## 9.5 Costo de mano de obra

Para evaluar las erogaciones debidas al personal técnico contratado, se recurre a las tablas publicadas AIEC y de UOCRA, para una jornada laboral de 8 horas diarias de lunes a sábado. A continuación, se muestra un resumen:

**Tabla 7**  
*Costos de mano de obra*

Costos de mano de obra	Categoría	Salario Básico (\$AR/hs)	Horas totales (hs)	Costo total (\$AR)
Supervisor		450	200	90000
Técnico electromecánico 1	Oficia E.	366	160	58560
Técnico electromecánico 2	Oficial E.	366	160	58560
Albañil	Oficial	366	160	58560
Auxiliar de obra	Ayudante	264	160	42240
Técnico en instalaciones sanitarias	Oficia E.	366	160	58560

El costo por mano de obra estimado será de **\$AR 366480**.

## 9.6 Costo de construcción de los Intercambiadores

Debido a la falta de mano de obra y herramientas especiales para la construcción de los intercambiadores la tarea será realiza por una empresa de la ciudad de Salta. A continuación, se muestran los procesos más importantes en la construcción.

**Corte de placas deflectoras:** El corte de los deflectores será cotizado por unidad de longitud. Para el caso de los deflectores, las operaciones de corte se cotizan de la siguiente manera:

**Tabla 8**  
*Costos de corte de deflectores*

Operación	Cantidad	Perímetro del corte (mm)	Longitud de corte (mm)	Precio (\$AR)
Corte semicircular	2	815	1630	1500
Agujeros de 1 in	52	59,81	2631,64	7000

El proceso de torneado, y agujerado de los espejos se realizará en el mismo taller, con un costo total de **\$AR 50000**.

**Unión por soldadura:** El método seleccionado para la unión de las piezas de soldadura, es por atmosfera de gas inerte y alambre de tusgeno. Los costos de estas operaciones se estiman en **\$AR150000**

El costo para la construcción del montaje y el acabado de las soldaduras la suma total de **\$AR250000**.

### 9.7 Alquiler de herramientas manuales y de construcción

El montaje de la red de agua fría requiere las siguientes herramientas:

**Tabla 9**  
*Herramientas manuales y de construcción*

Proceso		Herramientas	Tiempo de uso
Montaje de cañerías y fan coil	Herramientas de mano	Sierra	1 Semana
		Taladro	
		Termo-fusionado	
		Boquillas	
		Llaves	
Montaje de intercambiadores		Taladro	4 Semanas
		Llave de mano	
		Atornillador	
Montaje de cañería externa		Taladro	4 Semanas
		Destornilladores	
		Llave de mano	
Red eléctrica		Taladro	
		Destornilladores	
		Llave de mano	
		Pinzas	
		alicates	
Montajes de intercambiadores-Unidad de enfriamiento- Unidad evaporativa		Taladro	
		Llave de mano	
		Soldadora de arco	

Debido a que las herramientas de montaje como taladro llaves y destornilladores son de uso constante, serán comprados para evitar mayores gastos. El costo total de estos elementos es de **\$AR 40000**. Los demás elementos serán alquilados a una empresa privada. El costo de alquiler se estima en unos **\$AR 10000**.

**Elementos de seguridad:**

Se deberá dotar de los elementos de seguridad a cada uno de los integrantes del equipo. Los costos se estiman en **\$AR 12000**. En ellos se incluyen cascos, guantes de seguridad, gafas, protectores auditivos.

## 9.8 Transporte

El principal medio de transporte de materiales en la obra será una camioneta Chevrolet S10, en alquiler a una empresa de la ciudad de Salta. El precio estimado desde el inicio hasta la finalización de obra es de **\$AR 80000**.

**Consumos de combustibles:** El principal medio de transporte de materiales en la obra será una camioneta Chevrolet S10, con un promedio de consumo de 10.2 km/l. Para el transporte de los intercambiadores se requiere aproximadamente recorrer una distancia de 600 km. Para las demás actividades se promedia un uso diario de 40 km por día. En total por los días de uso el gasto de combustible se estima en 80 l. Al precio actual de 117 \$AR por litro, los costos son de **\$AR 9360**. A este valor se le suma el costo del combustible, por el transporte de los intercambiadores que es igual a \$AR 4600. Haciendo un total de **\$AR 39600**.

**Alquiler de elementos de elevación:** Se requiere el uso de elevadores de capacidad de 150 Kg. El costo del alquiler del elevador es de \$AR 3000 por hora. Se planifica un uso total del aparato en 1 día durante toda la jornada laboral, lo que da un costo total de **\$AR 15000**.

## 9.9 Análisis de costos

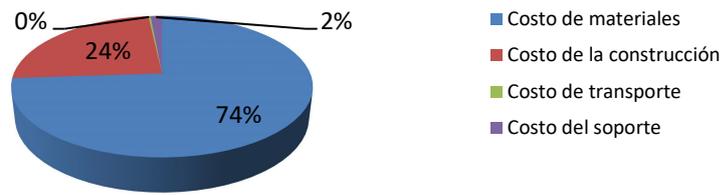
Con los datos obtenidos en la sección 8, se puede concluir que el mayor porcentaje de los costos se encuentran en los intercambiadores de calor. Los mismos suman un total del 75% del costo de los equipos para la obra.

**Gráfico 2** Resumen de costos de equipos



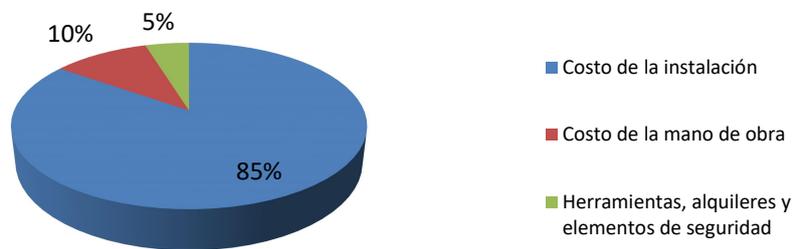
El gráfico 3 muestra los porcentajes de costos asociados a los intercambiadores de calor de tubo y coraza diseñados:

**Gráfico 3** Porcentajes de costos del ITC de la unidad de agua fría.



Se concluye que la mayor parte de los costos se encuentran en los materiales. De manera general se presenta los costos totales del proyecto en el gráfico 4:

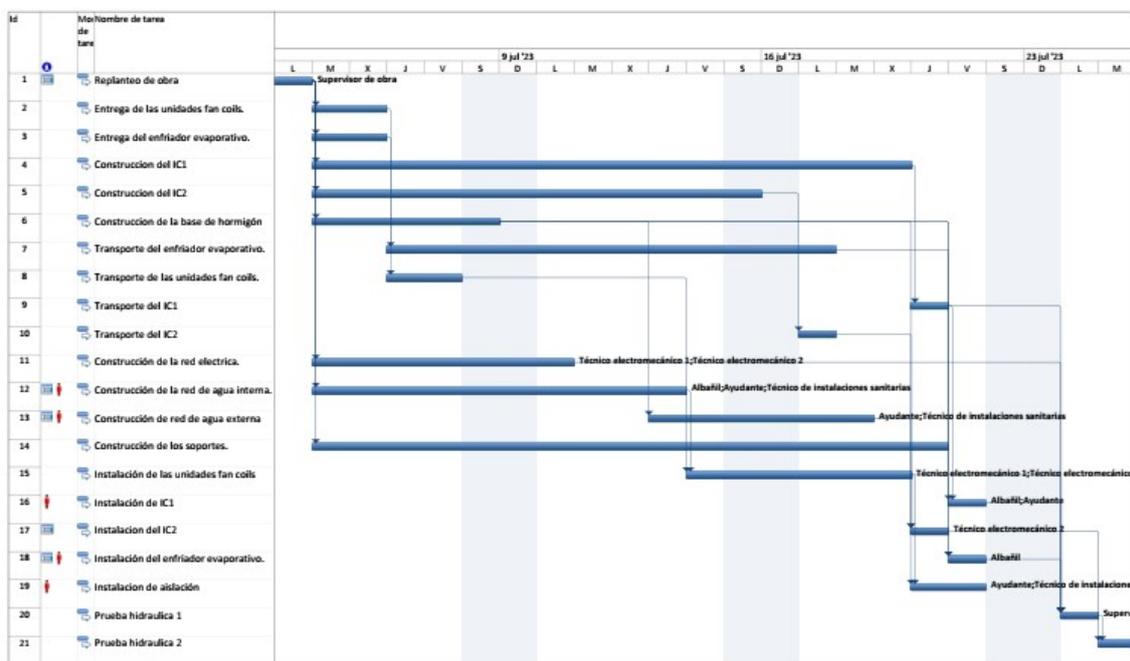
**Gráfico 4** Porcentaje de costos del proyecto



## 10 Tiempos de ejecución del proyecto

La duración estimada para la instalación y puesta en marcha de los equipos es de treinta días. Se estima como día de comienzo el primero de julio y como fecha de finalización el primero de Agosto del año 2023. La jornada laboral será de lunes a sábado, con 8 horas de trabajo. En la figura 44 se observa el diagrama de Gantt planificado para la ejecución del proyecto.

**Figura 44**  
 Diagrama de Gantt



### 10.1 Tiempos planificados para la ejecución del proyecto

En esta sección, amplía los lapsos de tiempos estimados para la ejecución de las tareas definidas en el capítulo anterior.

#### 10.1.1 Pedidos de materiales

Una vez definidos los recursos de proyecto, se procederá a realizar los pedidos de:

- Materiales para la construcción de la red de distribución de agua. Entrega en 1 día.
- Materiales para la construcción del intercambiador de agua fría. Entrega en 1 día.
- Materiales para la construcción del intercambiador del enfriador evaporativo.

Estas actividades están programadas para que comience el día **1 de julio**, de manera conjunta por el supervisor de la obra.

El pedido de las unidades fan coils y del enfriador evaporativo, se encuentra sujeto a la demora de 2 días de la entrega del distribuidor a la empresa transportista.

### **10.1.2 Construcción**

Las tareas de construcción comenzarán, cuando los materiales se encuentren en la zona de trabajo:

- Construcción de distribución de la red de agua interna, con un tiempo estimado de ejecución de **7 días**, requiere de la disponibilidad del técnico en instalaciones sanitaria, y un auxiliar técnico (sección 9.8). Dos técnicos electromecánicos se encargarán de la conexión de la red eléctrica mientras se ejecuta esta tarea.
- Construcción de la base de hormigón. Con los materiales en obra se procede a la construcción de la base de hormigón, estimando un tiempo de ejecución de **1 día** y de **5 días** para el fraguado. Se requiere de dos operarios con un tiempo parcial en la construcción, que luego serán desplazados a la tarea de construcción de la red de agua fría. El personal asignado serán el albañil y auxiliar técnico.
- La construcción de los soportes para los equipos: tendrá un lapso estimado de construcción de **15 días**. Los soportes para las unidades fan coils sean los que se demoraran más en su construcción (**aproximadamente 12 días**), siendo un punto crítico para la instalación de las unidades fan coils.
- Los intercambiadores de calor serán construidos en un lapso estimado de **15 días**. Previa llegada de los materiales al constructor. El intercambiador de calor del enfriador de agua, será el que se instalará en primer lugar para poder realizar la prueba hidráulica en la red de distribución de agua.

El intercambiador del enfriador evaporativo admite un tiempo de demora de aproximadamente 5 días antes de su instalación. Será conveniente proceder con la construcción de los intercambiadores antes del montaje para darle prioridad a la prueba hidráulica.

### 10.1.3 Transporte

El transporte de los equipos se ha definido en la sección 8.5. A continuación se estiman los tiempos de entrega de cada uno de los elementos:

- Enfriador evaporativo: **10 días**.
- Intercambiadores de calor (sección): **1 día**.
- Unidades fan coils. **2 días**.

### 10.1.4 Instalación

Previa construcción de la red de agua podrán instalarse:

- Aislantes de la red de distribución de agua (interna y externa). Se planificó, que esta actividad será realizada en **2 días**. Es una acción posible de ser reemplazada y ejecutada después de la obra. Requiere del técnico en instalaciones sanitarias y un auxiliar técnico.
- Unidades fan coils: para la instalación de estos equipos se estimó un lapso de **3 días**.

Previa construcción de la base de hormigón, podrán instalarse:

- Intercambiadores de calor: Esta actividad depende de la entrega y el transporte de los mismos a la obra. Se estima **1 día** para su instalación. Esta tarea realizada por los técnicos electromecánicos.
- Enfriador evaporativo: Esta actividad depende de la entrega y el transporte de los mismos a la obra. Se estima **1 día** para su instalación. Esta tarea realizada por los técnicos electromecánicos.

### 10.1.5 Prueba hidráulica

La prueba hidráulica tiene como objetivo verificar la instalación ante posibles fugas y el comportamiento de los reguladores de caudal con las presiones en la red de distribución. Esta prueba se realizará en dos partes:

- Primera: Se realizará una vez instalado el intercambiador de calor del equipo de enfriamiento y asegura la estanquidad de la red interna de distribución.

- Segunda: Se realizará una vez instalado el enfriador evaporativo y asegura la estanquidad de la red externa de la instalación.

Estas actividades marcan la finalización del proyecto.

## **10.2 Puesta en servicio**

La puesta en servicio involucra las etapas de prueba de estanquidad de las tuberías y el correcto funcionamiento de las unidades fan coil acoplado al equipo de enfriamiento de agua. Estas pruebas se realizarán una vez terminadas las conexiones hidráulicas, sin vincular la unidad evaporativa. Se considerarán satisfactorias, si la instalación funciona sin ocasionar pérdidas y manteniéndose en el rango de consumo eléctrico establecido.

## **10.3 Ruta crítica de actividades**

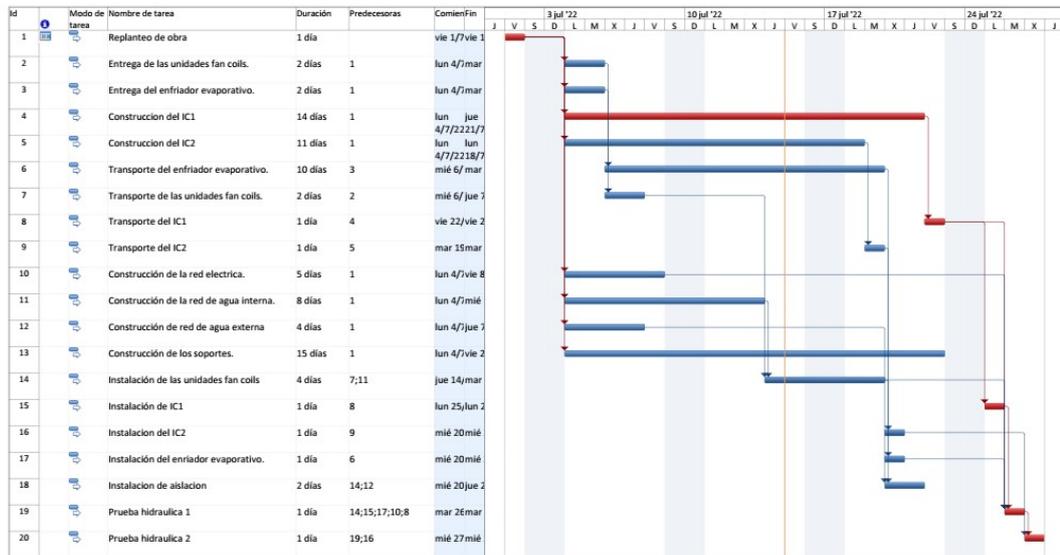
La ruta crítica de las actividades permite determinar que tareas puede retrasar todo el proyecto. En el gráfico 5 se muestran la ruta crítica trazada en forma resumida. El tiempo de entrega de los equipos es limitante para el inicio de la obra estimándose el tiempo de transporte y la disponibilidad de 15 días.

Una retraso en la construcción de los soportes es aceptable sin embargo, la entrega del intercambiador de la unidad de enfriamiento de agua retrasa la prueba hidráulica.

La instalación de los equipos exteriores (intercambiadores, enfriadores) requiere haber finalizado con la construcción de la red de distribución de agua, la base de hormigón y la terminación de los soportes.

Para evitar posibles demoras en la entrega se proyectarán dos días más para el transporte. La construcción del intercambiador del tipo tubo y coraza para el enfriador evaporativo también es independiente de las demás actividades, sin embargo para la fecha de finalización estimada, deber haberse realizado las pruebas hidráulicas con este equipo.

**Gráfico 5**  
*Ruta crítica de actividades*



Nota: ruta crítica en rojo

#### 10.4 Cronograma de desembolso de obra

Se planifica que durante la primera etapa de la obra deba desembolsarse el 50% del total de los costos, esto debido a que la mayor parte de los elementos deben ser construidos, o tienen un tiempo de entrega, que sobrepasa la primera semana.

Los gastos de transporte de larga distancia fueron considerados en esta semana, debido a la necesidad de retirar de los materiales de Famiq y entregárselo a la empresa constructora, junto con las especificaciones de construcción del intercambiador. Las empresas locales trabajan con el 50% del pago inicial para la compra de los materiales. Una vez terminado el trabajo deben desembolsarse completarse la totalidad del pago.

Los trabajos se liquidarán cuando la obra haya finalizado, es decir en la cuarta semana.

## **11 Balance energético**

En esta sección se presentan los resultados del análisis teórico al incorporar un enfriador evaporativo indirecto, acoplado al sistema de enfriamiento de agua para la bodega Trassoles.

### **11.1 Energía consumida**

La cantidad de energía eléctrica consumida por la bodega Trassoles, se encuentra determinada por el equipo instalado. La potencia del mismo es de 40kw, el tiempo de funcionamiento se estima de acuerdo a la época. Para los meses de enero febrero y marzo, el equipo funciona continuamente para alimentar los procesos de producción. Considerando tiempos de arranque y parada, se estima que el equipo funcionará durante 12 hs.

El objetivo de incorporar el enfriamiento evaporativo es reducir los costos energéticos asociados al proceso de producción. Sin embargo, el enfriador trabaja sólo en las condiciones determinadas por la humedad relativa del ambiente. Por esta razón, y para evitar la dependencia únicamente del enfriador evaporativo, el equipo funcionara en conjunto con el enfriador de agua.

Se estima que para los meses de enero febrero y marzo, el enfriador evaporativo actuará durante 8 horas, bajo las condiciones ambientales de la región y extraerá la carga necesaria para refrigerar el local. Durante el resto de la jornada, el aporte de agua fría lo realizará el equipo de enfriamiento (4 horas).

Los datos recolectados para los meses restantes comprueban que es posible usar el enfriamiento evaporativo, pero su eficiencia se reduce. Como consecuencia las horas de funcionamiento del enfriador evaporativo se reducirían a 5. El resto de la jornada, el agua de refrigeración será entregada por la unidad de enfriamiento.

Los consumos más altos de energía se encuentran en el primer trimestre, debido que las temperaturas del agua para los procesos de producción son más bajas, que para los procesos de conserva. Además, las condiciones ambientales propias de la época aumentan la carga térmica del local.

Para el resto del año la carga térmica se reduce y no es necesario un funcionamiento constante del equipo de enfriamiento por compresión de gas refrigerante.

La tabla 12, muestra la cantidad de energía requerida para el funcionamiento del equipo actualmente instalado para los meses de enero febrero y marzo, siendo 8400 kWh mensual. La energía requerida para la misma carga térmica computada con los equipos seleccionados (fan coils, enfriador evaporativo, bomba de agua) y para el mismo periodo de tiempo, es de 1737 kWh mensual (Gráfico 6).

**Gráfico 6:** Porcentajes de consumo usando un enfriador evaporativo



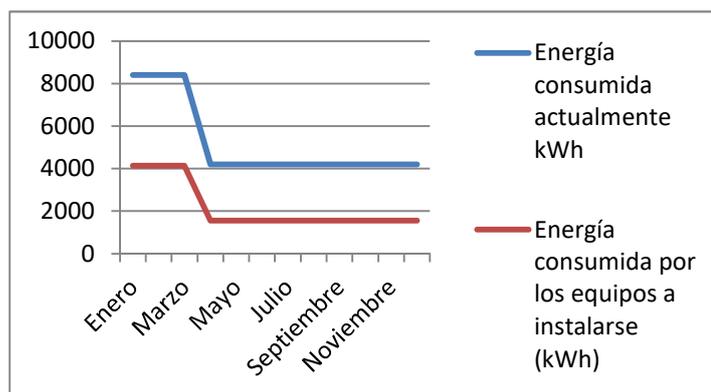
La tabla 13, muestra la cantidad de energía requerida para el funcionamiento del equipo actualmente instalado. La energía requerida para la misma carga térmica calculada con los equipos seleccionados (fan coils, enfriador evaporativo, bomba de agua) para el mismo periodo es de 1536 kWh mensual.

**Gráfico 7** Porcentajes de energía usando un enfriador evaporativo



Se puede comparar el ahorro de energía en la instalación diseñada, tomando como constantes los consumos del primer trimestre y del resto de los meses.

**Figura 45** Comparación entre la mejora y el sistema actual



En figura 45 se observa que el sistema diseñado ahorra los costos del primer trimestre en un 50% y el resto del año los costos se reducen un 37%. Estos datos, expresados en forma de erogaciones energéticas se muestran en la tabla siguiente:

**Tabla 10**

*Costos de la energía en los meses de Enero, Febrero, Marzo*

Equipo	Cantidad	Factor tiempo funcionamiento	Horas de trabajo	Potencia (KW)	Energía diaria (KWh)	Energía mensual (KWh)	Costo por hora de la energía (\$AR)	Costo mensual de la energía (\$AR)
Enfriador central de agua (instalado)	1	1	8	35	280	8400	3458,00	103740,00
Enfriador central de agua (acoplado con el enfriador evaporativo)	1	1	3	35	105	3150	1296,75	38902,50
Enfriador evaporativo	1	1	5	1,1	5,5	165	67,93	2037,75
Bomba (a instalarse)	2	1	8	1,11	17,76	532,8	219,34	6580,08
Unidades fan coil (a instalarse)	8	1	8	0,151	9,664	289,92	119,35	3580,51

**Tabla 11**

*Costo de la energía para el resto del año*

Equipo	Cantidad	Factor tiempo funcionamiento	Horas de trabajo	Potencia (KW)	Energía diaria (KWh)	Energía mensual (KWh)	Costo por hora de la energía (\$AR)	Costo mensual de la energía (\$AR)
Enfriador central de agua (instalado)	1	1	4	35	140	4200	1729,00	51870,00
Enfriador central de agua (acoplado con el enfriador evaporativo)	1	1	1	35	35	1050	432,25	12967,50
Enfriador evaporativo	1	1	3	1,1	3,3	99	40,76	1222,65
Bomba (a instalarse)	2	1	4	1,11	8,88	266,4	109,67	3290,04
Unidades fan coil (a instalarse)	8	1	4	0,151	4,832	144,96	59,68	1790,26

Considerando el precio de la energía constante y tomando como referencia el precio en el mes de abril del 2022 (EDESA, 2022), se estima un ahorro de \$AR 159917,17 el primer trimestre. Para el resto del año el ahorro es de \$AR 293395. Generando un total anual de \$AR 453313.

**Tabla 12**

*Consumos de energía anual*

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Energía actual consumida (kWh)	8400	8400	8400	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200
Energía consumida por los equipos a instalarse (kWh)	4137,72	4137,72	4137,72	1560,36	1560,36	1560,36	1560,36	1560,36	1560,36	1560,36	1560,36	1560,36

El retorno de la inversión se determina dividiendo el costo total en la cantidad (de ahorro de energía) Anual, lo que da un estimado de retorno de inversión de 7 Años.

## **12 Evaluación de impacto ambiental**

### **12.1 Introducción**

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es el procedimiento que permite identificar, predecir, evaluar y mitigar los potenciales impactos de la obra de montaje, mantenimiento y fin de la vida útil.

La evaluación de impacto ambiental, aplicada al desarrollo de este proyecto se encuentra asociada a las causas que podrían afectar el normal desarrollo de las actividades en la bodega y el tratamiento de los residuos generados durante el montaje, mantenimiento y funcionamiento de los equipos.

### **12.2 Objetivos de la evaluación de impacto ambiental**

El objetivo de esta sección es identificar y evaluar los posibles impactos ambientales, del proyecto: “Enfriamiento evaporativo, una alternativa destinada al ahorro de energía en el ámbito de bodega Trassoles”.

### **12.3 Descripción del proyecto**

El proyecto se encuentra enfocado al diseño de un intercambiador de calor, para aumentar la eficiencia del sistema de refrigeración usado en bodega Trassoles.

Debido a que en el diseño propuesto, involucra una reforma en el diseño tradicional del circuito, este intercambiador no se encuentra en el mercado, lo que hace necesario que el mismo, deba ser diseñado según las especificaciones térmicas y mecánicas de la instalación.

El proyecto consta de dos etapas, la primera es el montaje del circuito de enfriamiento con los equipos necesarios, para extraer la carga térmica del local. La segunda es, el montaje de la unidad de enfriamiento evaporativo, junto con su intercambiador, el cual permitirá ahorrar el 50% de la energía consumida por el equipo de frío en las épocas de enero-febrero- y marzo, y el 20% de la energía en los meses restantes. Este ahorro se traduce en menores emisiones de dióxido de carbono, ocasionado por el funcionamiento de las centrales eléctricas que cubren la demanda en las horas pico de funcionamiento.

La ejecución y el mantenimiento del sistema, generaran nuevos puestos de trabajo y contribuirá a la incorporación de esta tecnología en la región.

La mayoría de los procesos de montaje, no requieren mano de obra especializada, y tampoco se generan residuos peligrosos. Gran parte de los desechos pueden considerarse como residuos sólidos urbanos. Sin embargo su tratamiento se contempla dentro del análisis de este proyecto.

#### **12.4 Marco legal**

La Ley nº 25675, “permite una toma de decisión informada por parte de la autoridad ambiental competente respecto de la viabilidad ambiental de un proyecto y su gestión ambiental”.

El artículo 43 de la ley 7070, protección del medio ambiente provincia de Salta, describe los efectos, que son susceptibles de evaluación de impacto ambiental. Quedando fuera de esta ley, los efectos causados por la ejecución de este proyecto.

Sin embargo en la carta orgánica municipal, del departamento Cafayate, capítulo tercero, Art 21 “deberes de los habitantes”, menciona, la obligación de las empresas privadas a: “Preservar el ambiente, evitar su contaminación, participar en la defensa ecológica de la ciudad y reparar los daños causados”. Este artículo amplía su contenido, en la sección cuarta, “Capítulo único: medio ambiente” donde se recalcan las siguientes normativas:

Art.201: “Asegurar y controlar la calidad del aire, del agua, del suelo, del subsuelo y de las condiciones acústicas y visuales”

“Reducir progresivamente el volumen y la peligrosidad en la generación, transporte y tratamiento de todo tipo de residuos, y promover la clasificación en origen y recuperación de los mismos.”

“La protección del aire, del agua, del suelo y del subsuelo, propendiendo a la eliminación de todas las formas de contaminación”.

La gestión de residuos en el departamento de Cafayate, se encuentra a cargo de la Cooperativa Valle Calchaquí.

## **12.5 Descripción del lugar de trabajo**

El proyecto, se ejecutará en las instalaciones de bodega Trassoles, ubicada en el departamento de Cafayate, provincia de Salta. Las obras de montaje se ejecutaran en el interior de un galpón, denominado en este proyecto como “local de acondicionamiento”, y en una zona exterior para el montaje de los equipos refrigerados.

## **12.6 Área de influencia**

El análisis del impacto ambiental se limita, a la ejecución y mantenimiento del proyecto, ubicado en instalaciones de la bodega Trassoles, en el local destinado a la fermentación y conserva de vinos.

El funcionamiento de los equipos produce contaminación sonora y modificación de las condiciones de trabajo en el interior del local. Se extiende el área de análisis, a la porción externa de este local, donde serán instalados los equipos siguientes:

- Unidad de enfriamiento de agua.
- Intercambiadores de agua.
- Enfriador evaporativo.

La ubicación de estos equipos, no afecta a la línea de producción y no hay personas con puestos permanentes en las proximidades.

## **12.7 Análisis de los impactos**

### **12.7.1 Generación de residuos**

En la etapa de ejecución del proyecto se generan impactos sobre el ambiente, principalmente en la generación de residuos, ocasionados por el montaje y desembalaje de los equipos; que son residuos reciclables.

En la etapa de mantenimiento, se generan purgas continuas en los sistemas de distribución de agua.

El remplazo de los paneles evaporativos, es otra fuente de residuos.

Tipo: Negativo.

Duración: Temporal

### **12.7.2 Impacto sobre la atmosfera**

La ejecución del proyecto, consiste en la instalación de varios equipos en el local a acondicionar. Estos trabajos, deben ser lo menos contaminantes posibles, debido al cuidado que se debe tener en las condiciones de conserva del vino. En la etapa de montaje y perforado, las partículas de polvo debe reducirse al mínimo y asegurar la estanquidad del vino en los tanques.

El transporte de los distintos elementos se realizará por vehículos de combustión interna los cuales emiten partículas que contaminan al medio ambiente, emitiendo dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Durante la carga del refrigerante se producirá una leve descarga de gas hacia la atmosfera. Por las características del equipo seleccionado, este gas es el R407, que no produce daño sobre la capa de ozono.

Características del impacto:

- Tipo: Negativo.

- Duración: Temporario.

Durante el funcionamiento de la instalación solo se producirá una alteración del contenido de humedad del aire hacia la atmósfera.

Características del impacto:

- Tipo: Negativo.

- Duración: Permanente.

### **12.7.3 Impacto sobre el agua**

El mantenimiento de la instalación de distribución de agua, requiere un drenado permanente para asegurar el correcto funcionamiento de la instalación, la descarga de los drenajes no requiere tratamiento, debido a que los mismos no son contaminantes. Su drenaje se realiza para extraer los precipitados de calcio y de magnesio que puedan aferrarse a la instalación.

Características del impacto:

- Tipo: Negativo.
- Duración: Temporario.

### **12.7.4 Consumo de agua**

Durante el funcionamiento de la unidad evaporadora, se consumen alrededor de dos litros de agua por minuto. Esta debe reponerse cumpliendo con las características dadas por el fabricante. Para este proyecto la alimentación, se realiza por la red de distribución central.

Características del impacto:

- Tipo: Negativo.
- Duración: Permanente.

### **12.7.5 Ruido**

Cuando los equipos funcionan normalmente, los niveles de ruido están dados por las tablas de los fabricantes. Los mismos, producen niveles de ruido que se encuentran por debajo de los estipulados por la ley nacional 1540. La contaminación acústica en el interior del local, puede ser evaluada de la siguiente manera:

- Tipo: Negativo.
- Duración: Permanente.

En el exterior del local, más precisamente en el lugar donde se instala la unidad evaporativa y el equipo de enfriamiento, la presencia del personal es temporal. Llegando a niveles tolerables de ruido. La evaluación del impacto es la siguiente:

- Tipo: Negativo.

- Duración: Permanente.

#### **9.7.5 Impacto socioeconómico:**

Durante la etapa de ejecución del proyecto, la obra genera nuevos puestos de trabajos. Esto contribuye a la imagen de la empresa. Además, sólo es necesaria mano de obra especializada para la puesta en marcha de los equipos. Una vez terminado la instalación no es necesario contar con este personal.

Mientras la instalación funciona, requiere que el personal, realice mantenimiento para mantener los niveles de eficiencia adecuados, para ello es necesaria la capacitación e involucración del actual equipo de planta. Se considera este impacto como positivo, ya que contribuye a la economía local y a la capacitación, a pesar de ser temporario.

Tipo: Positivo.

Duración: Temporario.

#### **12.7.6 Consumo eléctrico**

Actualmente los sistemas utilizados en las bodegas de la región, son del tipo compresión. La gran desventaja de estos sistemas, es su gran consumo eléctrico. Este proyecto busca aumentar la eficiencia, mediante intercambiadores de calor. Es así, que este sistema genera una respuesta favorable a consumo de energía y al ambiente. Esta será una forma de introducir estos sistemas en esta industria, y aprovechar las condiciones para el uso de esta tecnología en la región.

Tipo: Positivo.

Duración: Permanente.

## 12.8 Diagrama causa efecto

La matriz causa efecto, es una herramienta para identificar los potenciales impactos ambientales. En las filas se observan las acciones, de acuerdo a cada etapa del proyecto y posteriormente en cada columna se coloca el efecto sobre el ambiente.

Causa	Efecto	Valor del impacto
Montaje de los equipos, en el interior del local a acondicionar	Generación de residuos	Impacto negativo, temporal y de intensidad baja.
	Contaminación atmosférica, generación de polvo	Impacto negativo, temporal y de intensidad baja
Transporte de los equipos y accesorios al lugar de instalación	Contaminación atmosférica.	Impacto negativo, temporal y de intensidad baja
Instalación y montaje de los equipos exteriores	Generación de residuos sólidos, movimiento de suelo	Impacto negativo, temporal y de intensidad baja
Puesta en marcha del enfriador central de agua	Carga de refrigerante	Impacto negativo, temporal y de intensidad baja
Construcción de la obra	Generación de empleos	Impacto positivo, temporal y de intensidad baja
Funcionamiento de la unidad evaporativa	Consumo de energía	Impacto positivo, permanente y de intensidad media
	Consumo de agua-consumo de energía	Impacto negativo, temporal y de intensidad baja
Funcionamiento de los fan coil	Ruido	Impacto negativo, permanente y de intensidad media
Funcionamiento de la unidad central de agua fría	Ruido	Impacto negativo, permanente y de intensidad baja
Mantenimiento de la unidad evaporativa	Generación de residuos Sólidos y líquidos	Impacto negativo, temporal y de intensidad baja
Mantenimiento de la red de distribución	Generación de efluentes líquidos	Impacto negativo, temporal y de intensidad baja

Mantenimiento de los intercambiadores	Contaminación del agua.	Impacto negativo, temporal y de intensidad media.
---------------------------------------	-------------------------	---------------------------------------------------

## 12.9 Conclusión

En la matriz se observa, que la mayoría de los impactos en las tareas de ejecución del proyecto son bajos y de carácter temporario. La instalación de la unidad evaporativa, tiene un impacto positivo desde el ahorro de energía, el cual es el objetivo del proyecto.

### 13 Conclusiones

En el desarrollo de este trabajo se ha demostrado, que es posible incorporar el enfriamiento evaporativo para reducir los costos de producción de agua fría, a un 50%. Aunque esta mejora logra disminuir la cantidad de energía necesaria para la producción, los costos asociados a los equipos, principalmente los relacionados con los materiales y la construcción de los intercambiadores (intercambiador de tubo y coraza del enfriador evaporativo, intercambiador de calor de tubo y coraza del enfriador evaporativo), hacen que el proyecto sea muy poco rentable a la hora de ser ejecutado. Además requiere un mantenimiento constante de las piezas del intercambiador para conservar los niveles de rendimiento computados.

Reducir los costos, implica usar materiales de menor espesor. Inclusive podría ejecutarse el proyecto por medio de materiales alternativos en la construcción de la coraza, y los cabezales capaces de soportar la presión y el desgaste por corrosión en los intercambiadores (anexo I).

En el capítulo 7.4 se hicieron las consideraciones para la selección de los materiales bajo los estándares de TEMA que permiten soldaduras compatibles y resistentes a la corrosión, sin embargo el uso del acero inoxidable en estos espesores aumenta los costos en los materiales y en consecuencia el intercambiador se encuentra sobredimensionado. Conservar el uso de los materiales y modificar los espesores implica un cálculo para cumplir con normas de ejecución de recipientes de presión y verificar todos los componentes ante presión. Esto queda fuera del alcance de este proyecto, pero debe considerarse como una alternativa de reducción de costos.

El uso de enfriadores evaporativos, disminuye el rendimiento de la transferencia de calor, pero esto no impide el uso del aire frío producido por estos equipos, siempre y cuando se combine con un porcentaje del aire ambiente para la renovación.

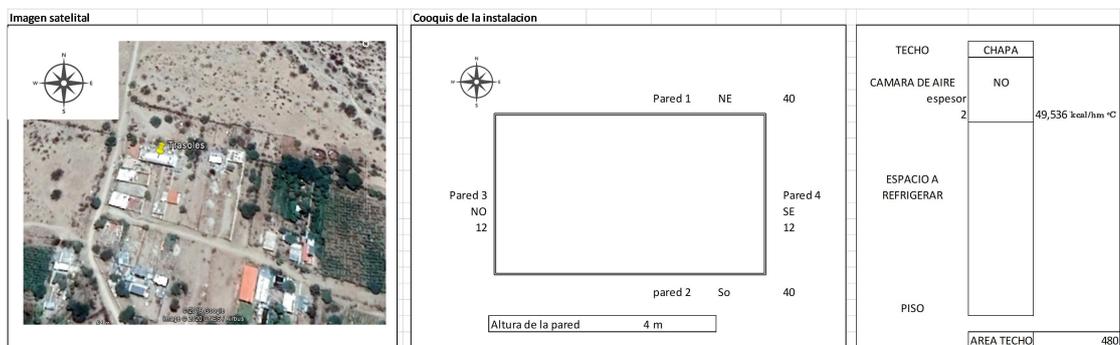
## 14 Memoria de cálculos

### 14.1 Carga térmica

**Flujo de calor por paredes y techos:** Gran parte de la transmisión de calor se produce por conducción, sobre el techo y las paredes. Las paredes son ladrillo hueco de 15x15 (tabla 25). El techo, es de chapa galvanizada, sin aislación. La distancia entre este y tapa de los tanques de fermentación es aproximadamente de 2,5m. Se forma una capa de aire, que sirve de aislante térmico entre la tapa de los tanques y el techo.

**Tabla 13**

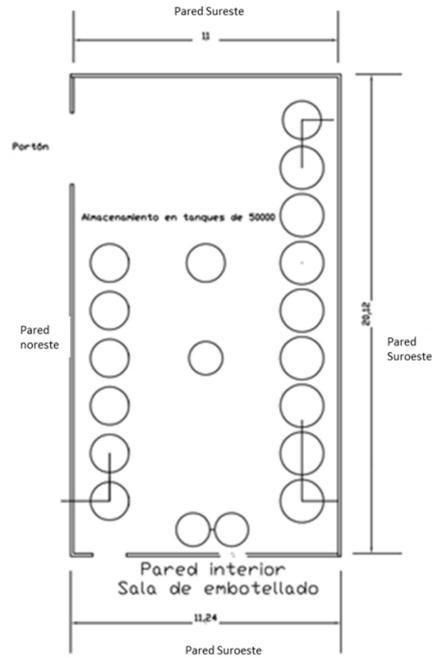
*Resumen de las características del local a acondicionar*



La temperatura interior queda definida por los estudios realizados en la bodega. Este valor se mantiene aproximadamente en 21°C, con una humedad relativa de 60% (sección 2)

Las dimensiones se muestran del local se muestran en la figura 46:

**Figura 46 Dimensiones del local**



Fuente: Elaboración propia.

Calor aportado por la pared noreste:

$$q_{ne} = 4242 \frac{kcal}{h}$$

Calor aportado por la pared sureste:

$$q_{se} = 2581 \frac{kcal}{h}$$

Calor aportado pared suroeste:

$$q_{so} = 1849 \frac{kcal}{h}$$

El calor total:

$$q_o = 8672 \frac{kcal}{h}$$

Paredes y techos interiores: En régimen estacionario el salto térmico entre la sala de fraccionamiento y la sala de fermentación es de 5°C. La cantidad de calor que aporta la pared interior es igual a:

$$q_{pi} = kA (\Delta t) = 753 \frac{kcal}{h}$$

$A$  Es el área de la pared interior;  $77,33 m^2$ .

$k$  Coeficiente de transmisión de calor;  $1,95 \frac{kcal}{h m^2 C^{\circ}}$ .

Orientación y latitud del lugar:

- Longitud: -65.9776600
- Latitud: -26.0728600

La conductividad térmica, se calcula por medio de la resistividad térmica de una chapa galvanizada con cámara de aire ( $rt= 0,26$ ), cuyo valor es igual a 3,8 se aproxima 4. La cantidad de calor que se transmite por el techo es:

Ecuación 1 Transmisión por conducción del techo

$$q_t = KA(t_e - t_i) = 14489 \frac{Kcal}{h}$$

Siendo el área del techo igual a  $A$  área del techo;  $226,16 m^2$  Para el calcular la cantidad de calor que penetra por efecto solar:

Ecuación 2 Cantidad de calor por efecto solar

$$q_{rs} = A I c = 131,25 \frac{kcal}{h}$$

$I$  Intensidad de radiación solar;  $35 kcal/h m^2$

$A$  Area expuesta al sol;  $3,75 m^2$

$c$  Coeficiente de corrección, teniendo en cuenta la protección que tiene la ventana

El coeficiente de radiación solar ( $I$ ), depende de la orientación y se obtiene de la tabla 26. La pared noroeste es la que recibe la radiación.

“La intensidad de radiación solar es la cantidad de calor proyectada por el sol promedio en los meses de verano, por metro cuadrado, en función de la latitud, orientación y hora del día, en Kcal/hm<sup>2</sup>”. (Quadri, 1987, pág. 80).

El valor calculado de debe afectarse por, la inercia térmica del material:

**Tabla 14**  
*Inercia térmica*

Pared de mampostería de ladrillos	0,1
Pared de mampostería de ladrillos 0,15	0,15
Pared de mampostería de ladrillos 0,30	0,3

Tomado de: Manual de cálculo de aire acondicionado y calefacción (p.38), por Néstor Quadri, 1978, Alsina.

Valor afectado por el coeficiente de absorción (s), está en función del color de la pared.

**Tabla 15**  
*Coefficiente de absorción (s)*

superficie muy clara	blanco, crema marfil	0,0017
Superficie clara	gris amarillo madera, revoque no coloreado, cemento	0,03
	rojo, gris, tejas, ladrillo, ceramica roja	0,035
Superficie muy oscura	negro, asfalto, pizarra	0,042

Tomado de Manual de cálculo de aire acondicionado y calefacción (p.38), por Néstor Quadri, 1978, Alsina.

**Cargas internas:** las cargas térmicas internas se definieron en la sección 3.

Cargas debidas a los ocupantes: Son diez personas que trabajan en el local de estudio, el calor cedido por una persona con grado de actividad intenso, se selecciona del cuadro siguiente:

**Tabla 16** aporte de calor por las personas

Grado de actividad	Kcal/h	
	Sensible	Latente
Sentado en reposo	55	35
Sentado y trabajo muy liviano	55	45
Trabajo en oficina	55	60
Trabajo liviano	60	80
Trabajo pesado	80	160
Trabajo muy pesado	120	200

Tomado de Manual de cálculo de aire acondicionado y calefacción (p.88), por Néstor Quadri, 1978, Alsina.

**Ecuación 3** Calor sensible aportado por las personas

$$q_{sp} = 10 \times 80 = 800$$

**Ecuación 4** Calor latente aportado por las personas.

$$q_{lp} = 10 \times 160 = 1600$$

Aporte de calor por distintos elementos: Calor sobre superficies exteriores metálicas:

**Ecuación 5** Transmisión de calor por una superficie metálica

$$S I \alpha = S h_e (t_1 - t_a) + S h_i(t_1 - t_a)$$

Tomado La cubierta metálica en el clima cálido húmedo (p.40), por Osttuhen Diaz, 2012, Universidad politécnica de Cataluña.

La absorptividad es una característica de la superficie y su valor para este estudio ha sido fijado en 0.74, considerando una cubierta oxidada, el coeficiente de convección superficial exterior ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) y el coeficiente de convección superficial interior ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ).

**Máquinas impulsadas con motor** Los artefactos a tener en cuenta son aquellos que, se estima funcionarán a la hora del cálculo térmico. El pico máximo de calor se produce a las 15 horas, en la época de vendimia el 50% del tiempo se encuentran funcionando:

- Bomba de trasiego 1,5 KW.
- Prensa neumática 6,3 KW.

Ambos realizan un aporte de  $6706 \frac{kcal}{h}$

El resto del año la prensa neumática deja de funcionar y la bomba de trasiego funciona eventualmente para la limpieza o clarificación del vino. Para este periodo el aporte de calor se considerará igual a cero.

**Ganancia de calor sensible en conductos**

La ganancia de calor sensible por conductos, depende del grado de aislamiento de los mismos y de la envergadura de la instalación. En el caso de la bodega Trassoles, los tubos por

donde circula el agua se encuentran aislados. Solo una pequeña parte de la instalación, se realiza por medio de mangueras especiales para este fin. Entonces estas pérdidas serán consideradas despreciables (sección 12.5).

### **Ganancia de calor por renovaciones de aire**

Durante la producción, es inevitable tener el portón de ingreso cerrado, debido a que, la molienda tiene lugar en el sector de entrada. Con una velocidad del viento aproximada de 3 m/s. La cantidad de calor que aporta el flujo de aire:

Ecuación 6 Calor latente

$$Q_{le} = C_{lv} G_h (h_e - h_i)$$

El calor sensible del aire seco puede expresarse mediante la siguiente ecuación simplificada:

**Ecuación 7** Calor sensible

$$Q_{se} = 17C_a(t_e - t_i)$$

$Q_{se}$  Calor sensible del aire exterior

$C_a$  Caudal de aire exterior en  $m^3/min$

$t_e$  Temperatura del aire exterior

$t_i$  Temperatura del aire interior

El aire caliente exterior, que se introduce en verano aporta una ganancia de calor muy importante. La superficie de esta abertura resulta ser bastante grande y por el momento resulta difícil anular su funcionamiento. También en la época de cosecha el calor aportado dependerá de las condiciones exteriores, velocidad del viento, porcentaje de humedad y temperatura. El área de la abertura es de  $12 m^2$ . Suponiendo la velocidad media del viento estimada para en los meses de vendimia en 1.1 km/h, caudal de aire circulante es de:

$$C_a = 3,6 \frac{m^3}{s} = 216 \frac{m^3}{min}$$

El calor latente del aire exterior:

Se concluye que el aporte de calor durante la época de la cosecha es prácticamente el 80% producido por la entrada de aire por la abertura. Por lo tanto mantener el portón abierto durante la época de vendimia, hace inviable la ejecución del proyecto.

En los meses posteriores a la vendimia, los procesos de fermentación y conserva el portón se encuentra cerrado, existiendo un aporte de calor por la radiación directa sobre el mismo. Para esta época el aporte de aire exterior se calcula por el método de las renovaciones de aire que requiere el local.

$$Q_{ie} = 735 \frac{kCal}{h}$$

$$Q_{se} = 136 \frac{kCal}{h}$$

La cantidad de calor para los meses de enero-febrero-Mazo

$$Q_T = 8672 + 753 + 14489 + 131,25 + 800 + 1600 + 9800 + 871 = 41958 \frac{kcal}{h}$$

#### 14.2 Selección de las unidades fan coils

El criterio de selección de las unidades fan coils se ha explicado en la sección 4.2. Por cuestiones de tiempos de entrega se ha elegido la unidad Carrier B42. Las características principales son:

- Capacidad frigorífica: 5000 Kcal/h.
- Caudal de agua: 1m<sup>3</sup>/h.
- Rango de temperatura de funcionamiento: 9°C a 16°C.
- Caudal de aire: 1460 m<sup>3</sup>/h.

Estos datos son importantes para el análisis económico (sección 9) y el balance energético (sección 10). Actualmente existen unidades mucho más eficientes y que trabajan con eficiencias mayores (un ejemplo son los equipos de la marca Sabina). Sin embargo la adquisición de estos equipos es muy costosa por los costos de importación.

### 14.3 Potencia frigorífica del enfriador evaporativo

Para obtener la potencia frigorífica de este equipo se recurre al procedimiento del fabricante. Se usan los datos extraídos del diagrama psicrométrico, para las condiciones exteriores del aire (Anexo C) se estima la temperatura de salida del aire enfriado mediante la fórmula:

$$\text{Temperatura del aire en el enfriador} = T_s = \frac{85 (T_{B_s} - T_{B_H})}{100}$$

Para este proyecto este valor es de  $h_e = 2,5$  kcal/kg aire.

$$Q = h_e V \rho$$

Tomando un valor de densidad del aire constante ( $\rho = 1,2$ ), y eligiendo un equipo ADH15, el cual puede entregar caudal de aire de  $V = 15.000$  m<sup>3</sup>/h la cantidad de calor que puede extraer el enfriador evaporativo es de:

$$Q = 45000 \text{ kcal/h}$$

“Según el tipo de actividad del local a tratar son necesarias un tipo de renovaciones” (Metalurgica Manlleuence, 2006, pág. 16). El valor se obtiene de la tabla 29.

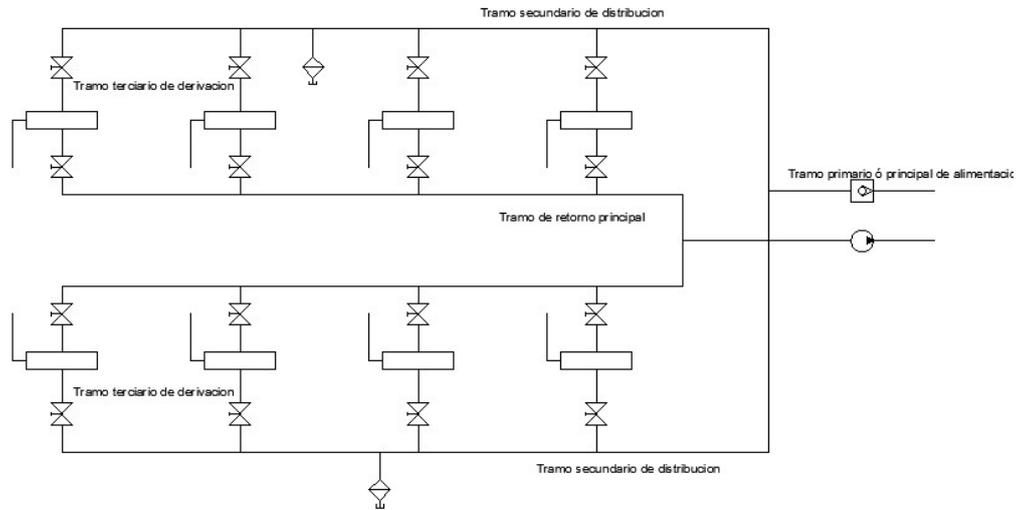
$$Q = 45000 \text{ kcal/h} / 40 \text{ renovaciones} = 1.920 \text{ frigorías /renovación.}$$

Mediante este cálculo se verifica que el enfriador evaporativo directo, funcionando con las condiciones ambientales promedio, puede realizar un ahorro de energía considerable. Un equipo ADH 15 consume 2.2 KW (Tabla 30), comparada con la potencia de consumo del enfriador de agua de 20 KW produce un ahorro energético del 89%.

### 14.4 Diseño de la red de tuberías

Los tramos que componen la red de distribución de agua, se describieron en la sección 5, un resumen esquemático de la instalación interior de las cañerías, se representa en la figura 47.

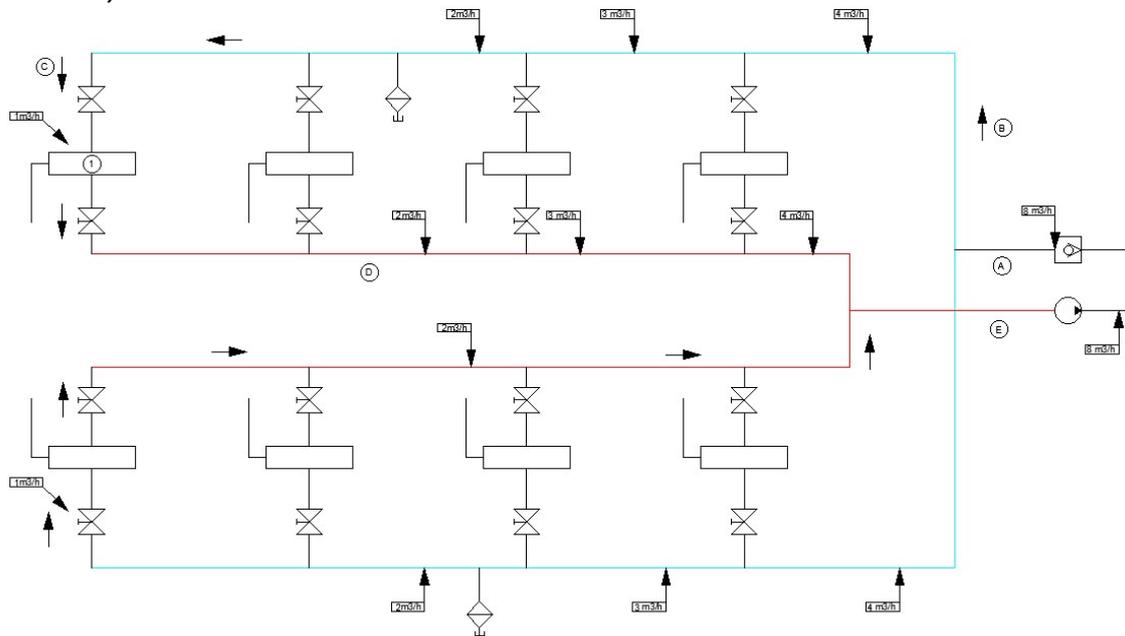
**Figura 47**  
*Esquema de la instalación de cañerías*



Fuente: Elaboración propia.

El caudal de agua que circula por los tramos, en el interior de la bodega se indican en la figura 48.

**Figura 48**  
*Caudales y válvulas en la red*



Fuente: Elaboración propia.

La caída de presión se calculará según el método desarrollado por (Quadri, 1987, pág. 133). El plano 3.03 indica la disposición de la red interna con la instalación de los accesorios<sup>7</sup> y

<sup>7</sup> Se denomina accesorios a las válvulas, codos y te necesarias para la conducción del fluido.

las longitudes para el cálculo de las cargas primarias. La tabla 17, expone los accesorios usados en la red de alimentación y la tabla 18, la medida nominal de los accesorios.

**Tabla 17:** *Perdida de carga de los accesorios en la red de alimentación*

		Referencias		
	Tramo	Caudal	Diámetro (mm)	Longitud
Alimentación	Tramo 1-2	2000	40	4
	Tramo 2-3	4000	40	4
	Tramo 3-4	6000	40	4
	Tramo 4-11	8000	50	14
	Tramo 11-10	16000	50	7
	Tramo 5-6	2000	40	4
	Tramo 6-7	4000	40	4
	Tramo 7-8	6000	40	4
	Tramo 8-11	8000	50	8
Retorno	Tramo 2-1	2000	40	4
	Tramo 3-2	6000	40	4
	Tramo 4-3	8000	40	4
	Tramo 9-4	16000	50	6
	Tramo 6-5	2000	40	4
	Tramo 7-6	4000	40	4
	Tramo 8-7	6000	40	4
	Tramo 9-8	8000	40	5
	Tramo 9-10	16000	50	6

**Tabla 18:** *Pérdida de carga de los accesorios en el retorno.*

Tramo	Accesorio	Cantidad	Medida	Material
Tramo terciario de retorno	Codo 90°	1	20 mm	PP
	Tramo recto de tubería	1		
	Llave tipo globo	1		
	Tramo recto de tubería	1		
	Unidad fan coil	1		
Tramo secundario de retorno	Tramo recto de tubería	1	40mm	
	Codo 90°	1		
	Te de derivación	4		
Tramo primario de retorno	Filtro	1	50 mm	
	Te de derivación	1		
	Codo 90°	4		
	Intercambiador de calor	1		
	tramo recto de tubería	1		

Un método para aproximar los diámetros de es el expuesto por (Quadri, 1987, pág. 148), usando el caudal y la velocidad del fluido en los caños.

Estas velocidades máximas están determinadas en el diseño de la red por razones prácticas o económicas teniendo en cuenta de no superar los valores máximos tolerables en cuanto a niveles de ruido o erosión las canalizaciones (Quadri, 1987, pág. 156).

Los resultados muestran que el caudal para necesario en la tubería es de 16 m<sup>3</sup>/s. La presión se calcula con:

$$H = \sum (l + l_{eq})R$$

H: presión eficaz en (mmca).

R: Gradiente hidráulico (mmca/m).

$\sum l$  Sumatoria de las longitudes de los tramos de cañería que constituyen el circuito cerrado más desfavorable, que es el más largo en (m).

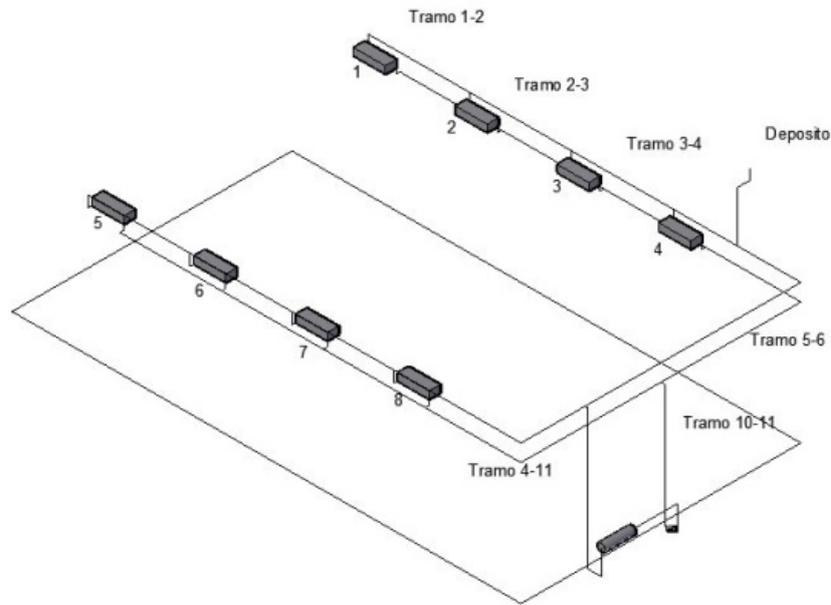
$\sum l_{eq}$  Sumatoria de las longitudes equivalentes de las resistencias individuales de los tramos del circuito cerrado de cañerías más desfavorable o más largo (m). Los valores se obtienen de la tabla C (IPS, 2010, pág. 48), considerando como valor de pérdida de caída de presión de los intercambiadores de calor como 8 mca (sección 7.4); y el valor de la caída de presión de las unidades fan coils sección (4.2). El resultado es una longitud equivalente es 99,8 m.

**Tabla 19** Caídas de presión en accesorios

	Cantidad	Pérdida por accesorio (m)	total (mca)
Longitud	30,5	32	32
Codos	6	1	6
Te salida bilateral	1	1	1
Te paso recto	3	0,5	1,5
Valvulas esfericas	3	5	15
Valvula compuerta	1	0,7	0,7
Regulador de caudal	1	15	15
Filtros mecanicos	1	3	3
Valvula antiretorno	1	6,1	6,1
Unidad fan coil	1	3,5	3,5
intercambiador EV	1	8	8
Intercambiador UCE	1	8	8
Longitud equivalente tramo mas alejado.			99,8

Con un valor de R igual a 50 mmca/m (IPS, 2010, pág. 50), el valor de la presión de la bomba será de 4.99 mca. La bomba seleccionada para esta aplicación será GAMA MP50.

**Figura 49** Tramos de la red de distribución de agua.



Fuente: Elaboración propia.

#### 14.5 Aislación

El cálculo de las pérdidas térmicas en la red de distribución de agua realiza según el tramo de cañería en:

- Externo.
- Interno.

Para su cálculo se hace uso del software ASILAM:

ASILAM es un programa informático que ha sido desarrollado por ATECYR y la Universidad Politécnica de Valencia. Además es un documento reconocido para la aplicación del RITE. Sus aplicaciones tienen que ver con el cálculo de espesores de aislamiento térmico necesario en equipos y elementos de los edificios y de las instalaciones industriales. Por otro lado, también permite calcular el flujo de calor a través de las paredes del elemento que se está estudiando. (Certificados energeticos, 2020)

El cálculo de la pérdida de calor en el tramo interior se realiza suponiendo las siguientes condiciones de partida, para la tubería de alimentación de agua fría:

Longitud: 20 m; diámetro nominal de la tubería: 40 mm; espesor de 3.7 mm; de polietileno (IPS random).

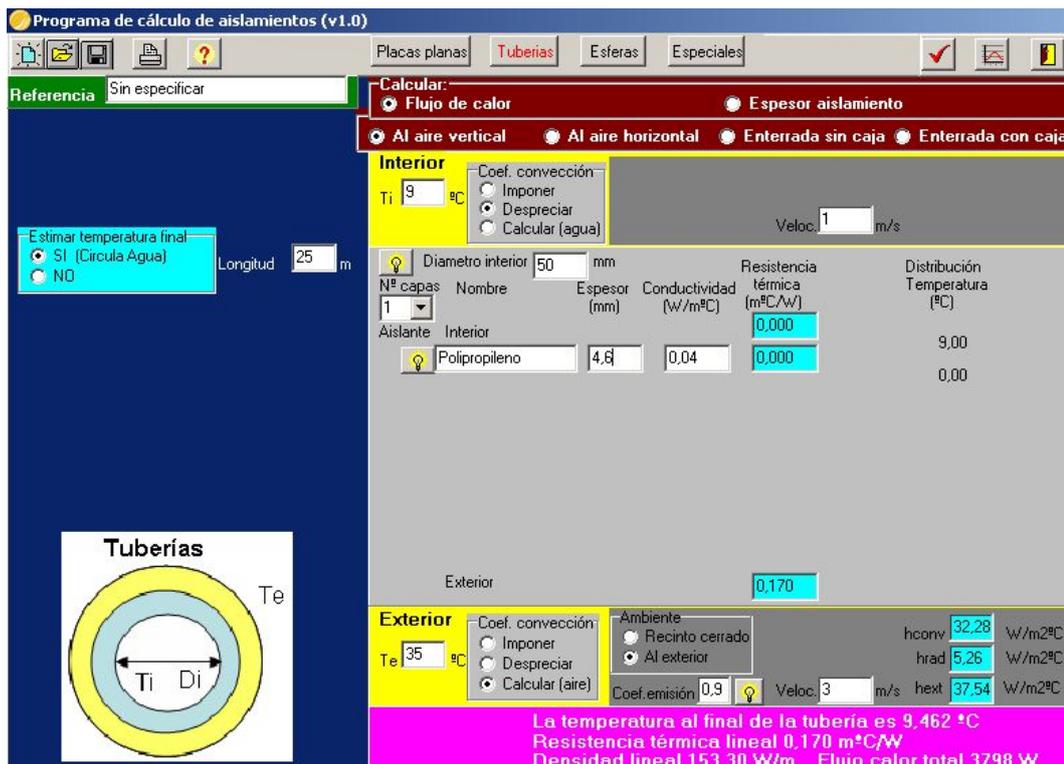
- Temperatura interior: 9°C.
- Temperatura exterior: 20 °C.

El resultado es de 282 W.

Para el cálculo de las pérdidas y el espesor del aislante en el tramo exterior la longitud es 25 metros, con tubos con diámetro nominal de 50 mm y espesor de 4,6 mm; construidas con polietileno (IPS random).

- Temperatura interior: 9°C.
- Temperatura exterior: 35 °C.

**Figura 50** Flujo de calor en el tramo exterior



El resultado se muestra en la figura 50.

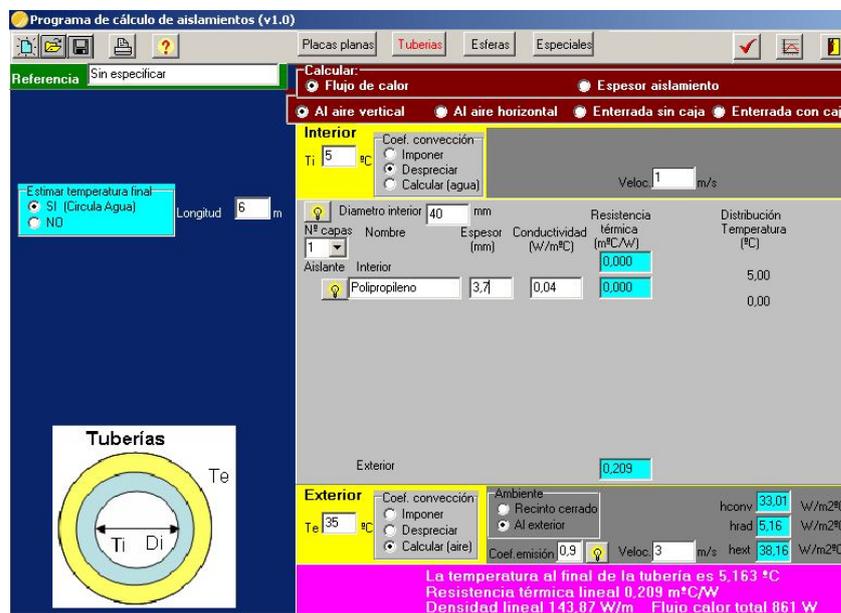
Para el cálculo de las pérdidas y el espesor del aislante en los tubos en el circuito del equipo enfriador agua, los datos son los siguientes:

Longitud de 6 m; diámetro nominal de la tubería de 40 mm; espesor de 3,7 mm; de polietileno

- Temperatura interior: 5°C.
- Temperatura exterior: 35 °C.

El resultado se muestra en la figura 51.

**Figura 51** Flujo de calor en los conductos del enfriador de agua

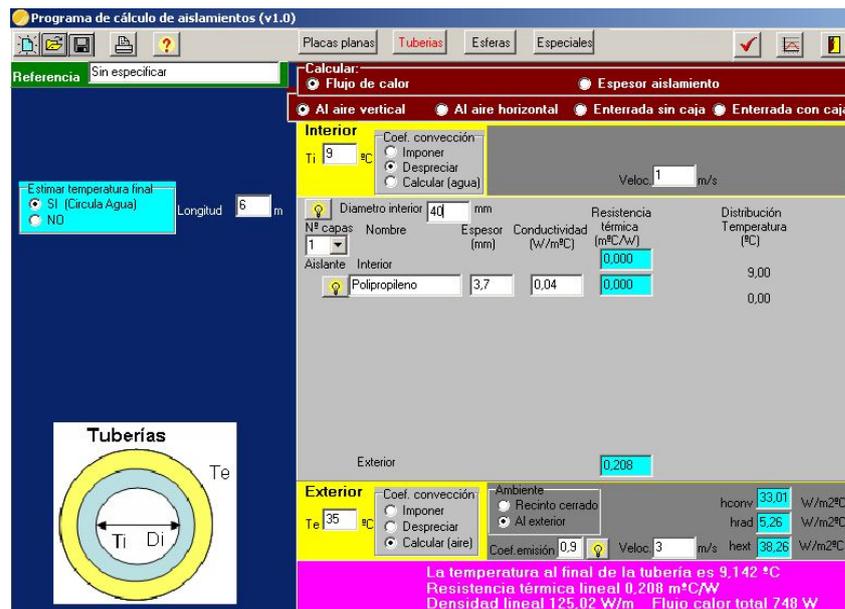


Para el cálculo de las pérdidas y el espesor del aislante en los tubos de la unidad de enfriamiento evaporativo:

Longitud de 6 m; diámetro nominal de la tubería 40 mm; espesor de 3,7 mm; de polietileno

- Temperatura interior: 12°C.
- Temperatura exterior: 35 °C.

Figura 52 Flujo de calor en los conductos del enfriador evaporativo



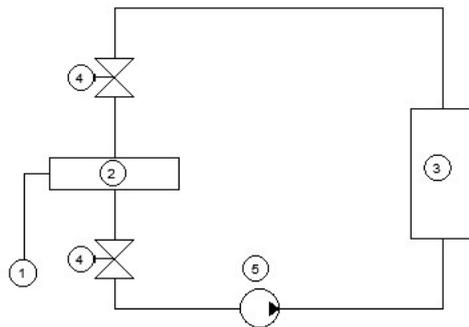
Como conclusión se elige una aislante de espuma elastomérica, de un espesor de 5mm, recubiertos con cinta (de aluminio). El contacto del caño con la atmosfera produciría condensación de agua sobre la tubería. Por lo tanto para evitar posibles inconvenientes futuros se aislará la cañera con una cinta de aislación térmica y sellado de las siguientes características:

Cinta Autoadhesiva de espuma de Polietileno de celda cerrada recubierta con un folio de Aluminio de 20 Micrones. Medidas: 48mm de ancho x 10m de largo.

#### 14.6 Caudal de la bomba para el enfriador evaporativo

El caudal de agua proveniente del enfriador evaporativo circulará por el intercambiador de calor, por intermedio de una bomba centrífuga. Este cálculo depende del tamaño de la balsa y la capacidad de restitución de agua del enfriador. Sin embargo, las condiciones para el diseño del intercambiador no cambian. Por lo tanto, la selección de la bomba se hará por medio del caudal de agua disponible en la unidad de enfriamiento. El intercambiador se ve modificado en su longitud, debido a que el salto de temperatura de agua es menor y deberá extraer la misma carga de interior del local. Podrán instalarse varios intercambiadores de calor evaporativos para extraer toda la carga térmica generada en el local de fermentación, sin embargo, en este proyecto se plantea el uso de un equipo para evaluar su rendimiento.

**Figura 53**  
*Circuito de agua del enfriador evaporativo*



*Fuente: Elaboración propia.*

En la figura 23, se representa el circuito de agua que circula por el enfriador evaporativo (3), se enfría y es impulsada por medio de la bomba centrífuga (5), al intercambiador de calor (2). El control de caudal se realiza por medio de una variación de la velocidad en el motor de la bomba. Dos válvulas serán las encargadas de desconectar el circuito para su desconexión y posterior mantenimiento.

#### 14.7 Selección de la bomba

Se estima que la pérdida de carga en el intercambiador de calor es de 8 mca. Las válvulas generan una caída de presión de 0.35 m, con una caída total de 11.5 m. Con esta presión y el caudal se selecciona una bomba del tipo gama monofásica de 0.5 hp.

#### 14.8 Cálculo de los intercambiadores

El diseño de los intercambiadores se realizó mediante el método de la diferencia media logarítmica de temperaturas (Serth, 2007, pág. 189).

Los intercambiadores de calor trabajarán con agua en ambas partes de su circuito, existiendo una presión de 50 psi en el interior de los tubos. El valor de la velocidad de circulación del agua se mantiene en 1.5 m/s, debido a que “es deseable mantener la velocidad del fluido en los tubos en el intervalo de aproximadamente 0.9144 - 2.4384 m/s” (Martinez, 2017, pág. 26).

El número de Prandtl se obtiene de la tabla 32, siendo constante para el diseño todo el proceso de transferencia de calor.

### 14.8.1 Intercambiador del equipo de agua

El cálculo requiere el conocimiento de los siguientes datos:

- El caudal de agua para la red principal es de  $16 \text{ m}^3/\text{h}$ . La densidad del agua tendrá un valor constante e igual a  $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$  y el caudal másico es igual a  $16416 \text{ kg}/\text{h}$ .
- El enfriador de agua entregará un caudal de  $16,4 \text{ m}^3/\text{h}$ . Suponiendo la densidad del agua constante e igual a  $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$  y el caudal másico es igual a  $16416 \text{ kg}/\text{h}$ .

Los caudales de alimentación deben llevarse a unidades en el sistema inglés (para facilitar los cálculos, debido a que todas las tablas se encuentran en este sistema de medida).

Entonces los resultados son

- Caudal de agua de red principal:  $36160,71 \text{ lbm}/\text{h}$ .
- Caudal de agua de agua del equipo de agua:  $36160,71 \text{ lbm}/\text{h}$ .

La diferencia media de temperatura se computa mediante la fórmula siguiente:

**Ecuación 8:** Diferencia logarítmica de Temperatura

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

Tomando como límite la pérdida térmica en los conductos de 10%, las temperaturas de trabajo serán:

$T_{h,ent}$  Temperatura de entrada del agua caliente, retorno de fan coils =  $17 \text{ }^\circ\text{C}$

$T_{h,sal}$  Temperatura de salida del agua fría, alimentación al fan coils =  $9^\circ\text{C}$

$T_{c,ent}$  Temperatura de entrada del agua fría, alimentado de la unidad central =  $5 \text{ }^\circ\text{C}$

$T_{c,sal}$  Temperatura de salida del agua, para retorna de la unidad central =  $10^\circ\text{C}$

Las diferencias medias de temperatura serán:

$$\Delta T_1 = T_{h,ent} - T_{c,sal} = 17 - 9 = 8^\circ\text{C} (14,4 \text{ }^\circ\text{F})$$

$$\Delta T_2 = T_{h,sal} - T_{c,ent} = 10 - 5 = 5^\circ\text{C} (1,8^\circ\text{F})$$

$$\Delta T_{ml} = 7.49^\circ\text{F}$$

El caudal de agua por unidad fan coils se deduce con la fórmula:

$$C_t = c_u n_u$$

$C_t$  Caudal de la tubería principal de alimentación

$c_u$  Caudal de las unidades individuales

Con 8 unidades Carrier B42 a instalar

$$C_t = 8 * 0,57 = 4.56 \frac{l}{s}$$

La configuración del intercambiador de calor se elige de acuerdo a los criterios de la sección 7.1.2, siendo AES conveniente el intercambiador del enfriador central de agua.

Para el cálculo del factor de corrección, se hace uso de la tabla 33.

$$F = 0,95$$

El coeficiente de transferencia de calor, para un intercambiador del tipo agua-agua se estima con la tabla 37:

$$U_D = 250$$

El valor de la carga térmica es de 41978 kcal/h o 166581 btu/h. El área de transferencia de calor:

Ecuación 9: Área de transferencia de calor

$$A = \frac{Q}{U_D F \Delta T_{ml,CF}} = 96,47 \text{ ft}^2$$

Eligiendo tubos de diámetro nominal 25 mm (1 in) y longitudes de 1.2 m (3,93 ft), los números de tubos requeridos para el intercambiador serán:

**Ecuación 10** Número de tubos

$$n_t = \frac{A}{\pi d_o L} = 64$$

El número de pasos se calcula con la solución parcial de la ecuación 13.

**Ecuación 11** Número de pasos

$$n_p > \frac{10^4}{\frac{4m}{\pi d_i n_t \mu}}$$

El resultado muestra el paso por el intercambiador será igual a uno.

Con los valores computados anteriormente, tomando una disposición cuadrada y haciendo uso de la tabla 35 el diámetro externo de la coraza en 12 in. El número real de tubos es de 52.

Con un tubo BGW 17, el  $d_i$  Diámetro interno de 0.884 in y espesor de la pared 0.058 in (tabla 35).

El número de Reynolds, del fluido que circula por el interior de los tubos se calcula con la ecuación:

**Ecuación 12** Número de Reynolds en los tubos

$$Re = \frac{4m \left( \frac{n_p}{n_t} \right)}{\pi D_i \mu} = 49986$$

Estableciendo que la variación de la viscosidad en la pared del tubo y en el interior es despreciable  $\frac{\mu}{\mu_w} = 1$ , el coeficiente de transferencia de calor es:

**Ecuación 13** Coeficiente de transferencia de calor de tubos

$$h_o = \frac{k}{d_i} 0,023 Re^{0.8} Pr^{1/3} \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} = 1787 \frac{BTU}{h ft^2 \text{ } ^\circ F}$$

K se obtiene de la tabla 33 La conductividad térmica del agua es aproximadamente:

$$k = 0,35 \frac{BTU}{h ft \text{ } ^\circ F}$$

Los deflectores son diseñados siguiendo la norma TEMA (tabla 38) entre los márgenes asignados, se elige una separación de deflectores de 0,4. La distancia entre tubos  $c'$  entre los tubos se obtiene de los valores de la tabla 36, con:

$$c' = 0,25$$

El paso entre los tubos:

$$P_t = 1,25$$

El área a través ( $a_s$ ) de los tubos, depende del diámetro de coraza, el espacio libre entre los deflectores y el paso de los tubos:

$$a_s = 0.06 \text{ ft}^2$$

El flujo por el área, por donde circula el agua proveniente del enfriador central de agua:

#### Ecuación 14 Cauda másico

$$G = \frac{m}{s} = 273600$$

El número de Reynolds:

$$Re = \frac{D_e G}{\mu} = 72155$$

El factor de Colbrun para la coraza:

$$jH = 0,5 \left(1 + \frac{B}{D_i}\right) (0,08 Re^{0,6821} + 0,7 Re^{0,1772})$$

$$jH = 81.46$$

Coefficiente de transferencia en la coraza:

$$h_o = jH \left(\frac{K}{D_e}\right) Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14}$$

$$h_o = 757.22 \frac{BTU}{h \text{ ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

El coeficiente de transferencia limpio será:

$$U_c = \left[ \frac{d_o}{h_i d_i} + \frac{d_o \ln \left( \frac{d_o}{d_i} \right)}{2K_{tube}} + \frac{1}{h_o} \right]^{-1}$$

$$U_c = 98.2 \frac{W}{m^2 K}$$

“Con el fin de encontrar el factor de ensuciamiento total, se calcula  $R_D$ , teniendo en cuenta los factores de ensuciamiento de los fluidos” (Martinez, 2017, pág. 53).

$$R_D = 0,0024 \text{ hft}^2\text{°F/Btu}$$

El coeficiente global de diseño se obtiene aplicando la ecuación 18:

**Ecuación 15:** Coeficiente global de diseño

$$U_d = \left( \frac{1}{U_c} + R_D \right)^{-1}$$

$$U_d = 79.05 \text{ Btu/hft}^2\text{°F}$$

La desigualdad  $U_D > U_R$  verifica el diseño térmico

$$81.28 \text{ Btu/hft}^2\text{°F} > 56.28 \text{ Btu/hft}^2\text{°F}$$

Entonces el intercambiador de calor para el enfriador de agua tendrá una longitud de tubos de 1,2m, con 52 tubos de  $d_i$  diámetro interno igual a 25 mm,  $d_o$  diámetro externo de 24.8 mm, BGW 11, con espesor de la pared 0,12 mm. Con coeficiente de transferencia de calor de tubo de  $h_i = 1577,5 \frac{W}{m^2 K}$ . Fabricado en acero inoxidable AISI 304 (coeficiente de transferencia de calor de  $52 \frac{W}{mK}$ ).

Con coraza de diámetro nominal de 304.8 mm y con deflectores con dos pasos, cobertura de un 20% y coeficiente de transferencia de calor de coraza de  $h_i = 372,13 \frac{W}{m^2 K}$ .

**Caída de presión en el intercambiador en la coraza**

El factor de fricción calculado es de  $f = 0.03$ , con un flujo turbulento en los tubos, una longitud de tubos de 2 m, el diámetro interno de los tubos de 0,0256, un factor de corrección de viscosidad igual a 1, gravedad específica (peso específico) igual a  $1 \frac{kg}{m^3}$ , con un caudal másico nominal para el equipo de  $4,16 \frac{kg}{s}$  las pérdidas se aproximan a 48700 Pa, 4,9 mca.

#### **Caída de presión en el intercambiador en los tubos**

El factor de fricción calculado es de  $f = 0.03$ , con un flujo turbulento en los tubos, una longitud de tubos de 2 m, el diámetro interno de los tubos de 0,0256, un factor de corrección de viscosidad igual a 1, gravedad específica (peso específico) igual a  $1 \frac{kg}{m^3}$ , con un caudal másico nominal para el equipo de  $4,16 \frac{kg}{s}$  las pérdidas se aproximan a 48700 Pa, 4,9 mca.

**Peso del intercambiado:** Para estimar el peso del intercambiador se estima por la densidad del acero AISI 304, de los componentes del intercambiador multiplicándolo por su volumen. El intercambiador, requiere de 4 barras de 6m, de 19,05 mm de diámetro nominal. Con un espesor de 1mm. Considerando la densidad del acero de 7850 kg/cm<sup>2</sup>; el peso de los tubos estimados es de 5.47 kg.

La coraza con un diámetro de 203.2 mm, espesor de 3 m, con longitud nominal de 0.8 m, con la densidad del acero en 7850 kg/cm<sup>2</sup>; su peso es de 5.96 kg. A este valor deberán sumarse el peso de la brida y de los espejos, estimando un total de 14.5 kg.

Los cabezales se encuentran contruidos con las tapas y las bridas, se estima un peso de 4.5 Kg. La carga estática por el peso del agua se estima por el volumen total del intercambiador, 0.037 m<sup>3</sup> con una densidad de 1000 kg/m<sup>3</sup>, 37.68. Con los valores anteriores, el valor aproximado del peso del intercambiador de calor es de 66.65 kg. Los soportes tienen un peso estimado de 6 kg.

El peso neto del intercambiador es de 72,75 kg. Afectándolo por un factor de seguridad de 2 el peso del intercambiador es 145.3 kg.

#### **14.8.2 Intercambiador de la unidad evaporativa**

El cálculo requiere el conocimiento de los siguientes datos:

- El flujo de agua por el interior de los tubos (proveniente de la red de agua de alimentación de fan coils) se mantiene en  $16,4 \text{ m}^3/\text{h}$ . Suponiendo la densidad del agua constante e igual a  $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ , el caudal másico es igual a  $16416 \text{ kg}/\text{h}$ .
- El flujo de agua por la coraza, proviene de enfriador evaporativo, el mismo entrega un caudal de  $10,4 \text{ m}^3/\text{h}$ . Suponiendo la densidad del agua constante e igual a  $10400 \text{ kg}/\text{m}^3$ , el caudal másico es igual a  $\text{kg}/\text{h}$  ( $22927,84 \text{ lbm}/\text{h}$ )

Las temperaturas de entrada y de salida del agua en el intercambiador de tubo y coraza para el enfriador evaporativo son:

$T_{h,ent}$  Temperatura de entrada del agua caliente, retorno de fan coils =  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$T_{h,sal}$  Temperatura de salida del agua fría, alimentación al fan coils =  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$T_{c,ent}$  Temperatura de entrada del agua fría, alimentado por el enfriador evaporativo =  $13 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$T_{c,sal}$  Temperatura de salida, para retorna de la unidad de agua fría =  $17 \text{ }^\circ\text{C}$ .

La diferencia media logarítmica de temperatura se computada con la ecuación 5, resulta en  $6,05 \text{ }^\circ\text{F}$ .

El procedimiento de diseño térmico es similar al descrito en la sección 12.7.1. El valor del coeficiente de transferencia de calor  $U_d$ , es 250 y se obtiene de la tabla 37. El factor de corrección F calculado con la gráfica 33 es igual a 0,9.

Para la construcción de este intercambiador se usaran tubos de 1" Del tipo BGW 17. Esto se debe a la facilidad de obtención del material y a su costo.

La ecuación 12, da como resultado el valor de  $122,18 \text{ ft}^2$ . Este valor es introducido en la ecuación 13, para encontrar el número de tubos, cuyo resultado es 54.06.

Con los resultados anteriores y la ecuación 13, se procede a verificar el número de pasos por el intercambiador

$$n_p = 0.2$$

Se opta como número de pasos, el entero inmediato superior, siendo entonces  $n_p = 1$ . Con el criterio de la sección 7.2.2, la disposición de los tubos será cuadrada.

Con los datos anteriores y la tabla 34, se selecciona el diámetro de la coraza. Para este intercambiador el diámetro nominal de la coraza será de 12 in. Aplicando la ecuación 15, el número de Reynolds es 50000.

Los resultados de la ecuación 15 y el valor del número de Prandtl (Tabla 32) permite calcular el coeficiente de transferencia de calor en los tubos ( $h_i$ ).

$$h_i = 1787$$

Con la tabla 36, en función de la característica y disposición de los tubos, se eligen los valores del espacio libre entre tubos  $c'$ , y la distancia de centro a centro  $P_t$ .

$$c' = 0,25$$

$$P_t = 1,25$$

El área de flujo a través se calcula con la ecuación 17, y permite obtener el valor del coeficiente de transferencia de calor de la coraza ( $h_o$ , ecuación 21).

$$h_o = 757,22$$

Se computa el coeficiente de transferencia limpio (ecuación 22) dando como resultado:

$$U_c = 98.35$$

Los valores del coeficiente de ensuciamiento cambian para el líquido en la coraza. Haciendo que el valor del coeficiente global de transferencia (ecuación 24) sea igual a:

$$U_D = 66.14$$

Para que el intercambiador cumpla con el criterio térmico debe cumplirse la desigualdad  $U_D > U_R$  verifica el diseño térmico

$$66.14 > 47.51$$



## 15 ANEXOS

### 15.1 Análisis de la corrosión

Cuando se ponen en contacto las partículas de cobre, provenientes de las unidades fan coils se establece una corriente eléctrica, originando la llamada corrosión electroquímica.

“Esta emisión de pequeñas partículas (iones) al agua es mucho más rápida que cuando nos encontramos con un solo metal, y únicamente provoca corrosión en el ánodo (acero). El material catódico (cobre) está protegido.”

Por esta razón es conveniente realizar constantemente el control de los sólidos disueltos en las tuberías, mediante una correcta planificación de mantenimiento. En este trabajo **no** se analiza el porcentaje de óxido que se puede generar. Sólo se considera este factor en el diseño del intercambiador de tubo y de coraza para garantizar una adecuada transferencia de calor y una duración correcta de los intercambiadores. “Un adecuado diseño de estructuras metálicas puede hacer que la corrosión sea más lenta o inclusive evitarla” (Askeland, 2012, pág. 868).

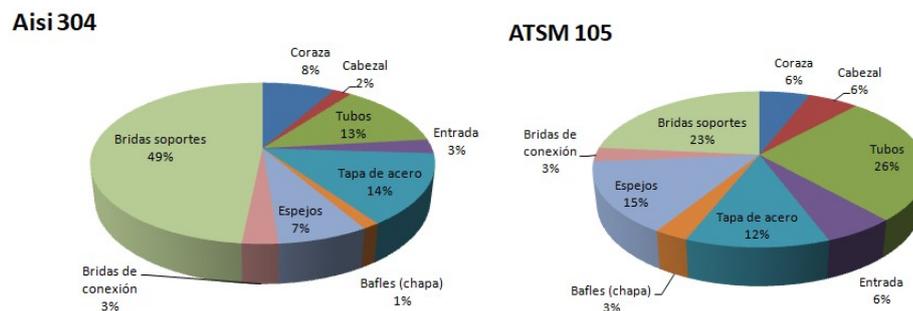
También deben considerarse los efectos de corrosión en las soldaduras (descritos en el capítulo 7.5). Para estas uniones :

El fallo de la soldadura que se produce en el acero inoxidable 304 o en otras aleaciones similares puede ocurrir por el mismo mecanismo de precipitación de carburo de cromo. Este tipo de fallos en soldadura se conoce como deterioro por soldadura se caracteriza porque la zona de deterioro por soldadura esta algo desplazada con respecto a la línea central de la soldadura. Por ello para la unión de realizar la unión por pasivado, es necesario realizar un pasivado químico. (Smith, 1998, pág. 622).

## 15.2 Selección de materiales para el intercambiador

Para reducir los costos se plantea como solución, reemplazar las bridas de acero inoxidable por bridas de acero al carbono ATSM 105, evaluando las posibles desventajas y costos que podría obtenerse al utilizar este material.

La selección de los materiales se analiza en el capítulo (7.3). La proporción de los costos se muestra en el siguiente diagrama.



Nota: los gráficos muestra la distribución de costo para distintos aceros

“ASTM A105 es una Especificación para forjas de acero al carbono, para aplicaciones de tuberías” (Gelson Luz, 2022). Si los intercambiadores utilizan estas bridas reducen los costos a **\$AR 340757** (49% de los costos de los materiales AISI 304).

Este ahorro deberá compararse con la reducción de la vida útil de la unión debido a los siguientes factores:

- Acoplamiento eléctrico de los distintos materiales: al acoplar por medio de soldadura aceros AISI304 y ATSM105 y ponerlos en contacto con un medio corrosivo, el acero ATSM 105 presenta una velocidad de corrosión mucho alta. La razón, es la diferencia de potencial entre los dos metales.
- Acumulación de agua drenaje. La acumulación de líquido en el fondo del intercambiador puede ocasionar problemas de corrosión, especialmente con la presencia de (el cobre se comporta como ánión).

### 15.3 Estimaciones de las horas y días de funcionamiento del enfriador evaporativo

El enfriador evaporativo es el que hace posible el ahorro energético, por ello es importante evaluar si las condiciones de la región permiten el uso de esta tecnología.

“El clima de la región es templado seco, con veranos cálidos, precipitaciones de alrededor de 200 mm anuales (concentradas entre los meses de diciembre a marzo). La temperatura media anual es de 17 a 20°C, con máximas medias de 27 a 35°C, máximas absolutas de 37 °C (Morandi, 2014, pág. 16).

Es de suma importancia los datos de humedad relativa anual (estiman el tiempo de funcionamiento), los mismos se obtienen de la estación meteorológica automática Etchart, ubicada a 2 km, de la zona de estudio. Las planillas siguientes muestran un ejemplo de la recolección de datos que realiza este equipo, y que fueron útiles para evaluar el tiempo de funcionamiento del enfriador evaporativo.

**Tabla 20** Datos meteorológicos bodegas Etchart.

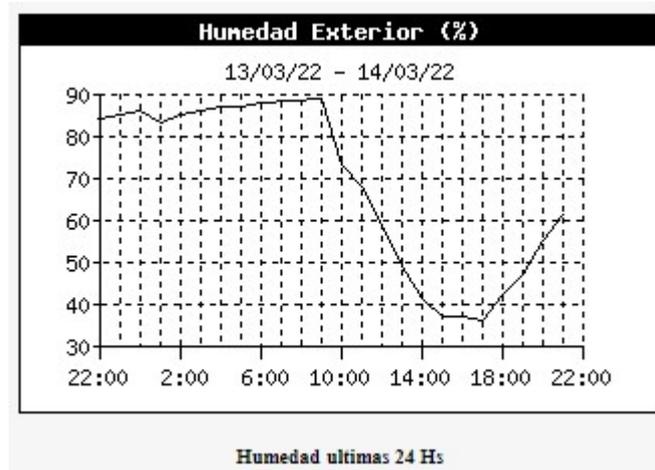
THW In	THSW In Air	Temp Bar	Hi Rain	Low Rate	Out Temp	Dew Hum	Wind Pt. Speed	Wind Heat	Wind Cool	Hi In	Hi In	Wind In	Heat In	
Fecha	Hora	Bar	Rain	Rate	Temp	Hum	Pt. Speed	Dir	Run Speed	Dir	Chill	Index	Heat	
Index	EMC	Density	ET	Samp	Wind	Solar	Rad.	Dir	Run Speed	Dir	Hum	Index	Dew	
Heat	EMC	Density	ET	Samp	Wind	Solar	Rad.	Dir	Run Speed	Dir	Hum	Index	Dew	
19/05/21	1:00	10.8	10.9	9.6	83	8.0	0.0	---	0.00	0.0	---	10.8	10.7	
10.7	8.1	1008.7	0.00	0.0	0	0.00	0	0.315	0.000	17.8	61	10.2	17.3	
11.25	.0745	0.03	1368	1	100.0	60	0	---	0.00	0.0	---	11.6	11.4	
19/05/21	2:00	11.6	11.8	10.8	80	8.2	0.0	---	0.00	0.0	---	11.6	11.4	
11.4	8.8	1008.7	0.00	0.0	0	0.00	0	0.282	0.000	17.8	61	10.2	17.3	
11.25	.0745	0.03	1379	1	100.0	60	0	---	0.00	0.0	---	10.7	10.6	
19/05/21	3:00	10.7	11.6	10.7	81	7.5	0.0	---	0.00	0.0	---	10.7	10.6	
10.6	7.9	1008.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.319	0.000	17.7	61	10.0	17.2	
11.25	.0745	0.03	1368	1	100.0	60	0	---	0.00	0.0	---	8.7	8.6	
19/05/21	4:00	8.7	10.7	8.7	81	5.6	0.0	---	0.00	0.0	---	8.7	8.6	
8.6	5.9	1008.0	0.00	0.0	0	0.00	0	0.403	0.000	17.6	61	9.9	17.1	
11.25	.0745	0.00	1367	1	99.9	60	0	---	0.00	0.0	---	7.1	7.1	
19/05/21	5:00	7.1	8.6	6.9	85	4.8	0.0	---	0.00	0.0	---	7.1	7.1	
7.1	4.3	1007.8	0.00	0.0	0	0.00	0	0.468	0.000	17.5	61	9.9	17.0	
11.25	.0745	0.00	1362	1	99.6	60	0	---	0.00	0.0	---	5.3	5.2	
19/05/21	6:00	5.3	7.1	5.2	86	3.2	0.0	---	0.00	0.0	---	5.3	5.2	
5.2	2.3	1007.9	0.00	0.0	0	0.00	0	0.542	0.000	17.4	61	9.8	16.9	
11.25	.0745	0.00	1368	1	100.0	60	0	---	0.00	0.0	---	5.2	5.1	
19/05/21	7:00	5.2	5.3	4.8	87	3.2	0.0	---	0.00	0.0	---	5.2	5.1	
5.1	2.2	1007.9	0.00	0.0	0	0.00	0	0.549	0.000	17.2	61	9.6	16.7	
11.25	.0746	0.00	1368	1	100.0	60	0	---	0.00	0.0	---	4.4	4.3	
19/05/21	8:00	4.4	5.2	4.4	88	2.6	0.0	---	0.00	0.0	---	4.4	4.3	
4.3	1.4	1008.6	0.00	0.0	0	0.00	5	0.581	0.000	17.2	61	9.6	16.6	
11.25	.0747	0.00	1369	1	100.0	60	0	---	0.00	1.6	SSE	7.2	7.2	
19/05/21	9:00	7.2	7.2	4.3	88	5.3	0.0	SSE	0.00	1.6	SSE	7.2	7.2	
7.2	6.9	1008.5	0.00	0.0	53	4.56	113	0.465	0.000	17.2	60	9.4	16.6	
11.09	.0747	0.03	1367	1	99.9	60	0	---	0.00	6.4	SSE	12.6	12.2	
19/05/21	10:00	12.6	12.6	7.2	70	7.3	0.0	SSE	0.00	6.4	SSE	12.6	12.2	
12.2	12.5	1008.7	0.00	0.0	91	7.83	341	0.238	0.000	17.4	61	9.8	16.9	
11.25	.0746	0.05	1376	1	100.0	60	0	---	0.00	0.0	---	16.6	15.9	
19/05/21	11:00	16.6	16.6	12.7	61	9.0	1.6	0	1.61	8.0	SO	16.6	15.9	
15.9	20.2	1008.0	0.00	0.0	406	34.92	526	0.074	0.000	17.5	60	9.6	16.9	
11.08	.0746	0.23	1368	1	100.0	60	0	---	0.00	0.007	17.5	60	9.6	16.9
19/05/21	12:00	18.5	18.6	16.6	55	9.3	0.0	5	0.00	11.3	S	18.5	17.8	
17.8	22.6	1006.5	0.00	0.0	527	45.33	638	0.000	0.007	17.5	60	9.6	16.9	
11.08	.0745	0.30	1356	1	99.1	60	0	---	0.00	0.292	18.1	60	10.2	17.7
19/05/21	13:00	21.2	21.2	18.6	44	8.5	0.0	5	0.00	8.0	S50	21.2	20.0	
20.0	25.2	1004.8	0.00	0.0	636	54.70	705	0.000	0.128	17.6	61	9.9	17.1	
11.25	.0743	0.38	1367	1	99.9	60	0	---	0.00	0.0	---	23.3	22.7	
19/05/21	14:00	23.3	23.3	21.2	37	7.8	1.6	NO	1.61	14.5	NO	23.3	22.7	
22.7	27.9	1003.3	0.00	0.0	644	55.39	710	0.000	0.208	17.8	60	9.9	17.3	
11.07	.0741	0.41	1360	1	99.4	60	0	---	0.00	0.292	18.1	60	10.2	17.7
19/05/21	15:00	25.3	25.3	23.3	29	6.0	3.2	ONO	3.22	11.3	NNO	25.3	24.5	
24.5	29.5	1001.5	0.00	0.0	618	53.15	691	0.000	0.292	18.1	60	10.2	17.7	
11.06	.0739	0.41	1374	1	100.0	60	0	---	0.00	0.0	---	27.3	25.8	
19/05/21	16:00	27.3	27.4	25.3	25	5.5	1.6	NO	1.61	16.1	NNO	27.3	25.8	
25.8	30.3	1000.4	0.00	0.0	554	47.65	643	0.000	0.373	18.4	59	10.2	17.9	
10.95	.0737	0.38	1362	1	99.6	60	0	---	0.00	0.0	---	28.1	26.6	
19/05/21	17:00	28.1	28.2	27.3	23	5.0	0.0	NNO	0.00	4.8	NNO	28.1	26.6	
26.6	29.9	999.9	0.00	0.0	278	23.91	497	0.000	0.407	18.7	58	10.2	18.2	
10.75	.0736	0.20	1372	1	100.0	60	0	---	0.00	0.0	---	10.2	18.2	

Nota: INTA, (13-03-2022). Estación Meteorológica Automática Bodegas Etchart.

[https://anterior.inta.gov.ar/prorenea/ema\\_etchart/Clima.htm](https://anterior.inta.gov.ar/prorenea/ema_etchart/Clima.htm)

Con estos datos se elaboran gráficas de variación de humedad diaria, de los cuales se obtiene el intervalo aprovechable para el funcionamiento del enfriador evaporativo (sección 8). A continuación se muestra una presentación de los datos y su fuente:

**Gráfico 8** Representación gráfica de la humedad relativa



Nota: Tomada de: Instituto nacional de tecnología agropecuaria. (13 de marzo de 2022). Estación meteorológica automática Etchart [http://anterior.inta.gob.ar/prorenea/ema\\_etchart/Clima.htm](http://anterior.inta.gob.ar/prorenea/ema_etchart/Clima.htm)

Con el mismo método también es posible evaluar la variación de la humedad anual, generando así los datos necesarios para el cálculo de la potencia ahorrada de la sección 12.

#### 15.4 Mantenimiento de la instalación

“Los equipos y accesorios de la instalación deben estar situados de forma tal que se facilite su limpieza, mantenimiento y reparación”. (IDAE, 2012, pág. 44).

Para mantener el nivel de eficiencia del sistema es necesario llevar a cabo un correcto plan de mantenimiento que involucra:

- Tareas de mantenimiento preventivo.
- Tareas de mantenimiento total.

En este proyecto no se desarrolla la planificación del mantenimiento, pero es recomendable que las actividades se realizan durante horas nocturnas y desviando la carga parcial a las camisas de refrigeración. La mayoría de los equipos cuentan con un mantenimiento preventivo detallado en sus manuales, en los siguientes ítems se detallan los puntos más relevantes del mismo:

**Mantenimiento en Intercambiador de calor del enfriador de agua:** La mayor parte del tiempo el intercambiador se encontrará en funcionamiento, “la realización de estos controles e inspecciones se realizará durante las paradas de la planta y siempre y cuando se detecte un aumento apreciable de pérdida de presión y/o una reducción de la capacidad de trabajo.” (Manual de intercambiadores, 2022).

Los tramos del intercambiador pueden desconectarse mediante las bridas a la entrada y a la salida. En el diseño se encuentra incorporada una válvula de aire y un depósito de expansión. Este depósito se encuentra cerrado pero hay comunicación mediante una válvula para la restitución de agua en caso de limpieza del intercambiador.

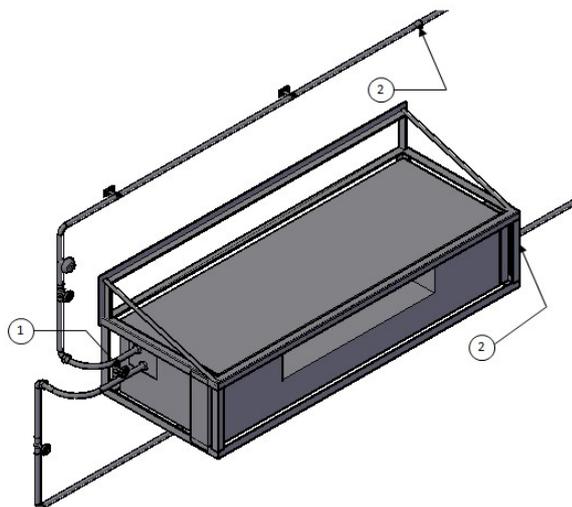
El objetivo del mantenimiento preventivo es:

- Analizar el nivel de impurezas.
- Analizar el nivel de líquido circulante.
- Realizar una limpieza general sobre la superficie de los tubos tanto interna como externa.
- Analizar el nivel de corrosión en las soldaduras y en las juntas o uniones del intercambiador.

**Mantenimiento en el intercambiador de calor del enfriador evaporativo:** las actividades de mantenimiento preventivo deben ser más periódicas, debido a que el agua es constantemente afecta aumenta la concentración de sólido disuelto y la cantidad de lodos. Aunque el equipo elegido permite la regulación automática de estas impurezas pueden generarse incrustaciones sobre la superficie de los tubos que disminuyen su eficiencia. Por lo tanto es de preferencia usar un aditivo para evitar este tipo de incrustaciones y utilizar un depósito para la extracción del agua fría. En este proyecto no se analizan estas modificaciones y solo hacen hincapié en el estudio energético.

**Mantenimiento en la red de distribución:** El mantenimiento de las tuberías, es prácticamente nulo, solamente deben controlarse el estado de los filtros, y realizar el drenaje cuando se realice el mantenimiento de los intercambiadores. A la salida y entrada del agua en la distribución principal se encuentran instaladas válvulas para evitar el vaciado total de la instalación. De la misma forma un tanque superior, se encarga de restituir el agua en caso de pérdidas o fugas. Las unidades fan coils, deben seguir el mantenimiento estipulado en su manual, al realizar este mantenimiento debe aislarse la unidad por medio de las válvulas de derivación conectadas en la tubería secundaria.

**Fig. 1 Ubicación de elementos de mantenimiento.**



Nota: 1-derivación 2-filtro

**Mantenimiento en el enfriador evaporativo:** debe realizarse de acuerdo a lo estipulado en el manual del fabricante. “Al ser de funcionamiento normalmente estacional se

realizará un programa de mantenimiento preventivo al menos una vez al año, al comienzo de la temporada en que el equipo va a trabajar”. (Metalurgica Manlleuence, 2006, pág. 29).

### **15.5 Tablas de especificaciones técnicas**

1-Tabla de especificaciones del intercambiador de calor de tubo y coraza de la unidad de enfriamiento de agua.

2-Tabla de especificaciones técnicas del intercambiador de calor de tubo y coraza del enfriador evaporativo.

3-Hoja de especificación de soldadura par brida de sujeción y cilindro de coraza

## **15.6 Planos**

### **1-Planos de construcción:**

- 1.1 Disposición interna externa de equipos.
- 1.2 Dimensiones del local de estudio.
- 1.3 Vista general de equipos.

### **2-Planos de ubicación de equipos en el exterior y construcción:**

- 2.1 Vista general de los equipos.
- 2.2 Disposición de equipos exteriores.
- 2.3 Disposición general de equipos.
- 2.4 Soportes para unidades de enfriador evaporativo.

### **3-Plano de ubicación de equipos en el interior del local**

- 3.1 Soportes unidades Fancoil.
- 3.2 Ubicación interna de equipos.
- 3.3 Red de tuberías interna.
- 3.4 Montaje de red interna.

### **4-Intercambiador del equipo de agua fría:**

- 4.1 Intercambiador de tubo y corza.
- 4.2 Vista frontal del intercambiador.

4.3 Seccionamiento del intercambiador.

4.4 Cabezal.

4.5 Dimensionamiento de los espejos.

4.6 Detalles de unión y soldadura.

## **5- Intercambiador del enfriador evaporativo.**

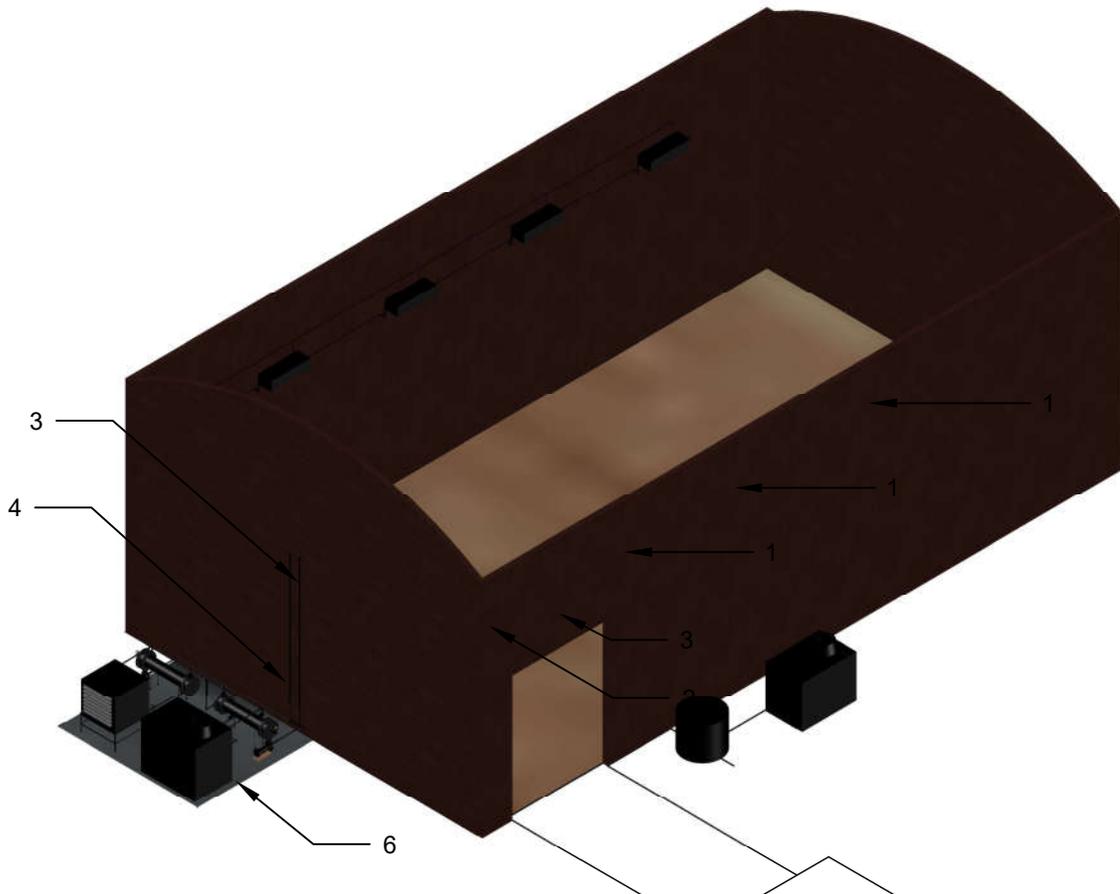
5.1 Vista frontal del intercambiador.

5.2 Seccionamiento del intercambiador.

5.3 Cabezal.

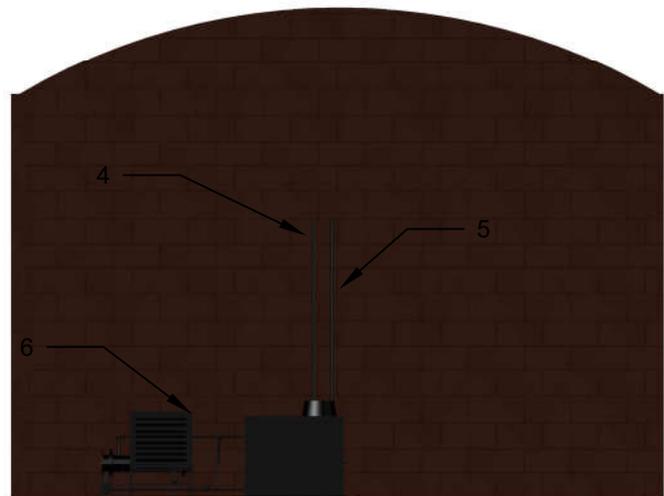
5.4 Dimensionamiento de los espejos.

Vista en perspectiva del local de estudio

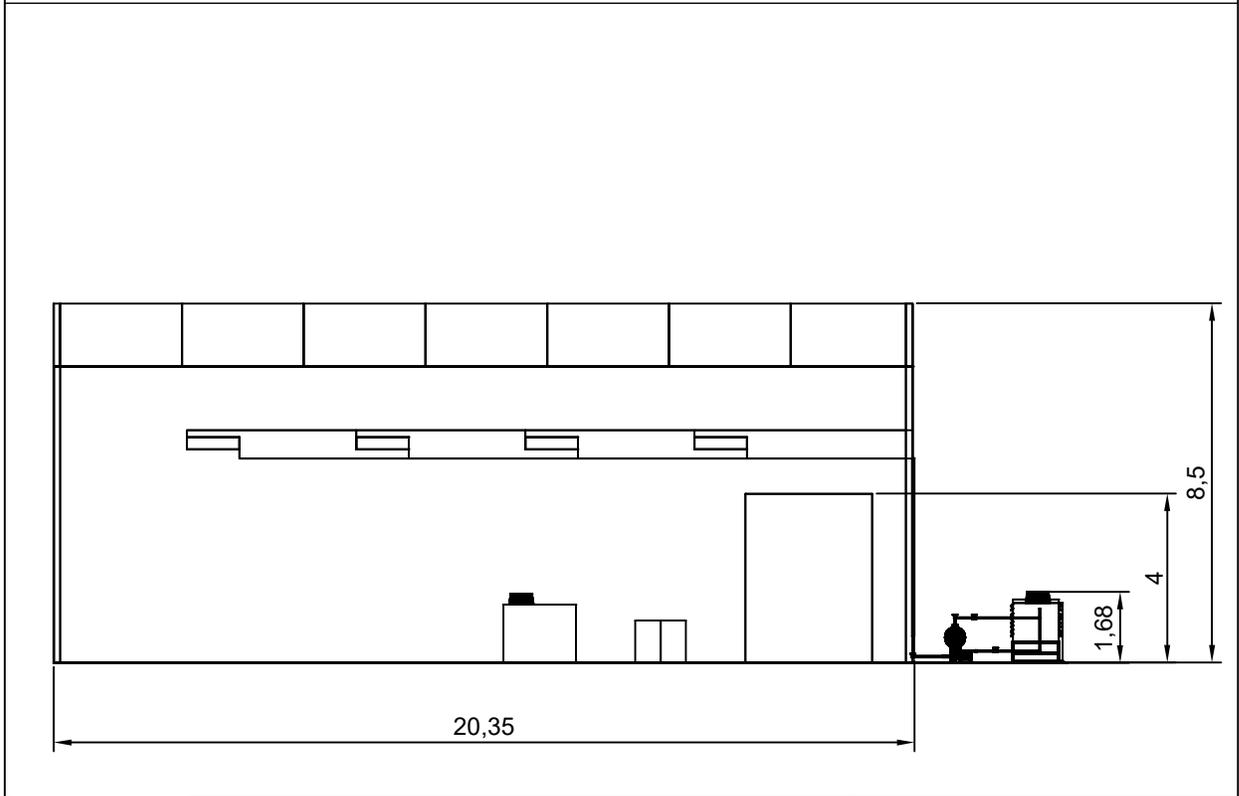
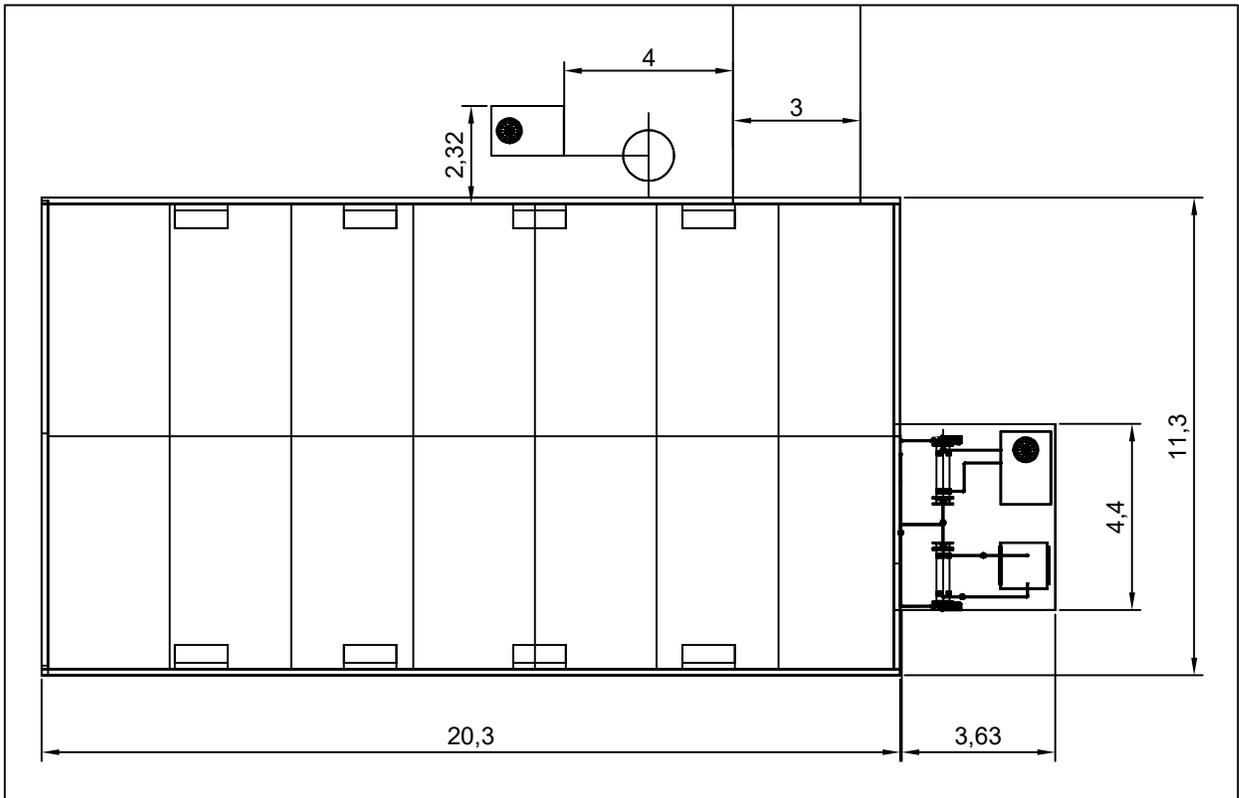


Vista frontal de la instalación externa de los equipos

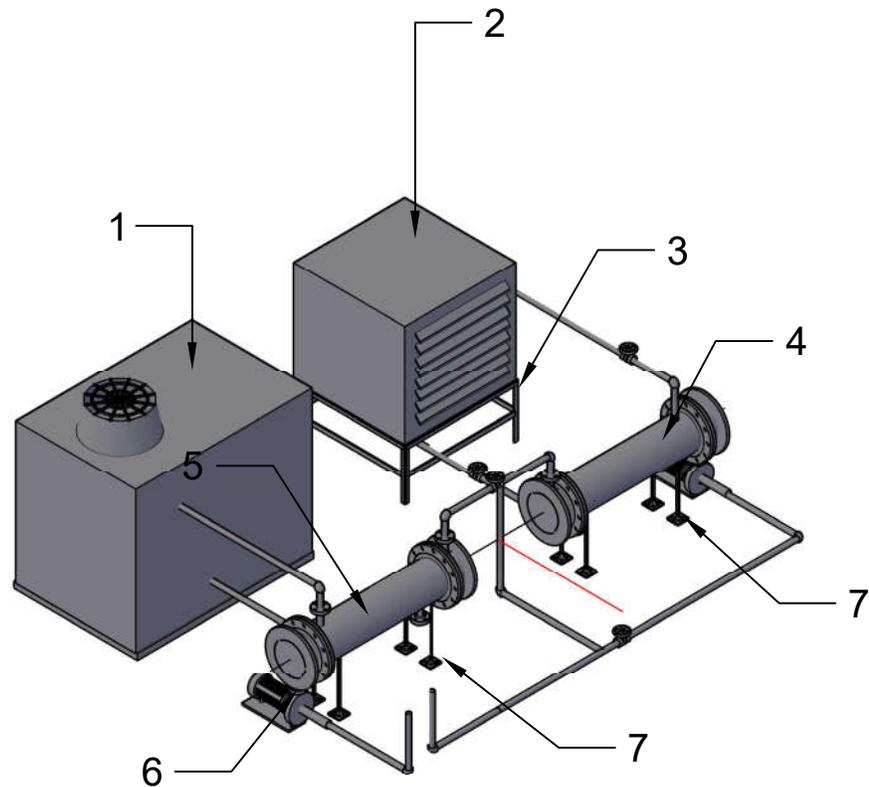
Referencias	
1	Unidades Fan coils
2	Tubería de alimentación secundaria
3	Tubería de retorno secundaria
4	Tubería de alimentación principal
5	Tubería de retorno principal
6	Equipos externos



Local de fermentación de vinos, bodega Trasseles	Dibujo	05/05	Chocobar	PROYECTO FINAL	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL LA RIOJA	
	Revisado		Baigorri			
	Aprobado		Argenter C			
	Esc	1:10	<b>Disposición externa -interna de los equipos</b>		Plano número	<b>1.01</b>
		Tolerancia N/A Rugosidad N/A			Fecha de emisión	<b>12/03/2022</b>

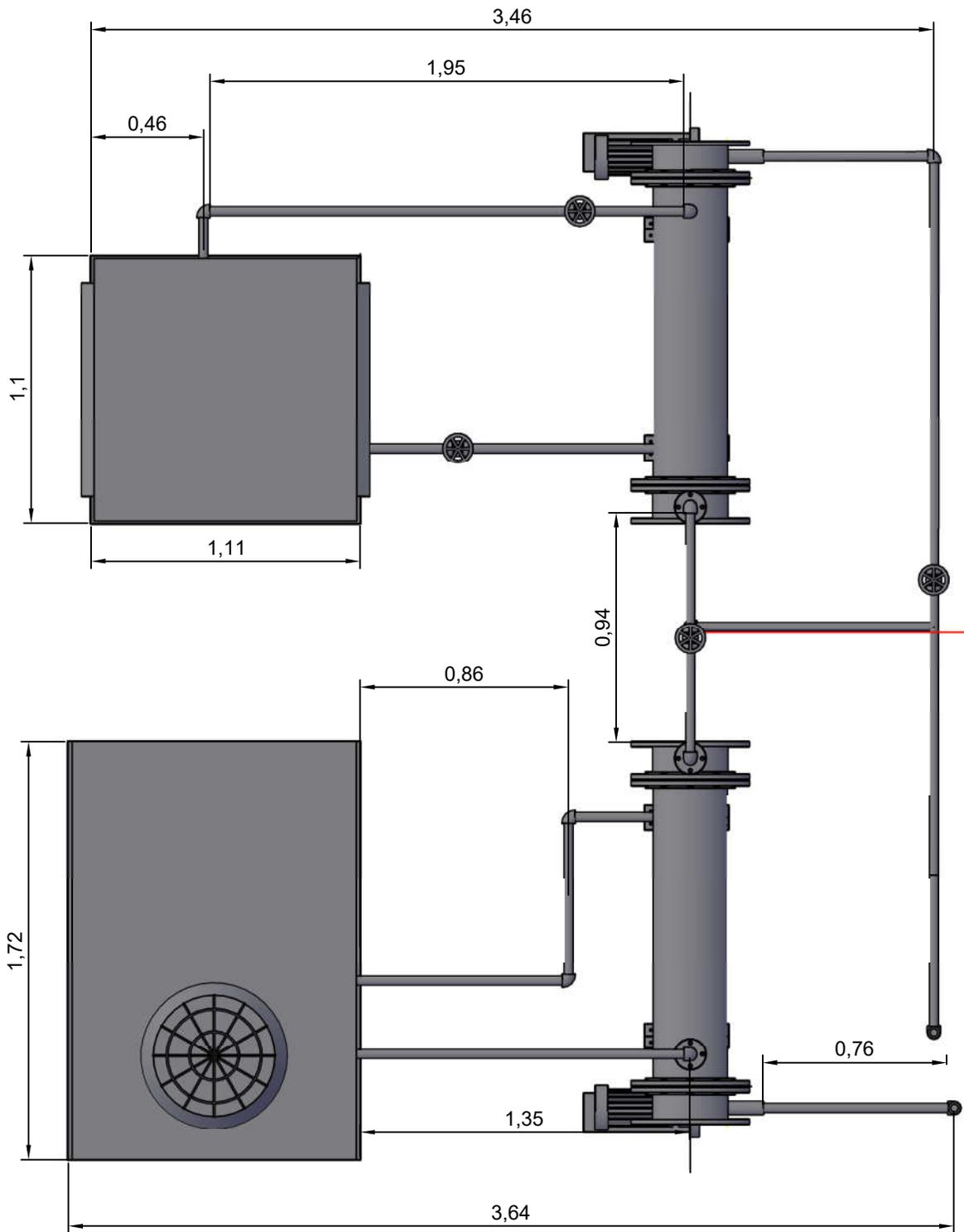


Dimensiones del local de estudio en Bodegas Trasseles.	Dibujo	3/03	Chocobar	PROYECTO FINAL	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL LA RIOJA
	Revisado		Baigorri		
	Aprobado		Argerter C		
	Esc	6:1	<b>DIMENSIONES DEL LOCAL DE ESTUDIO.</b>		Plano número
	Tolerancia N/A Rugosidad N/A	Fecha de emisión			12/03/2022

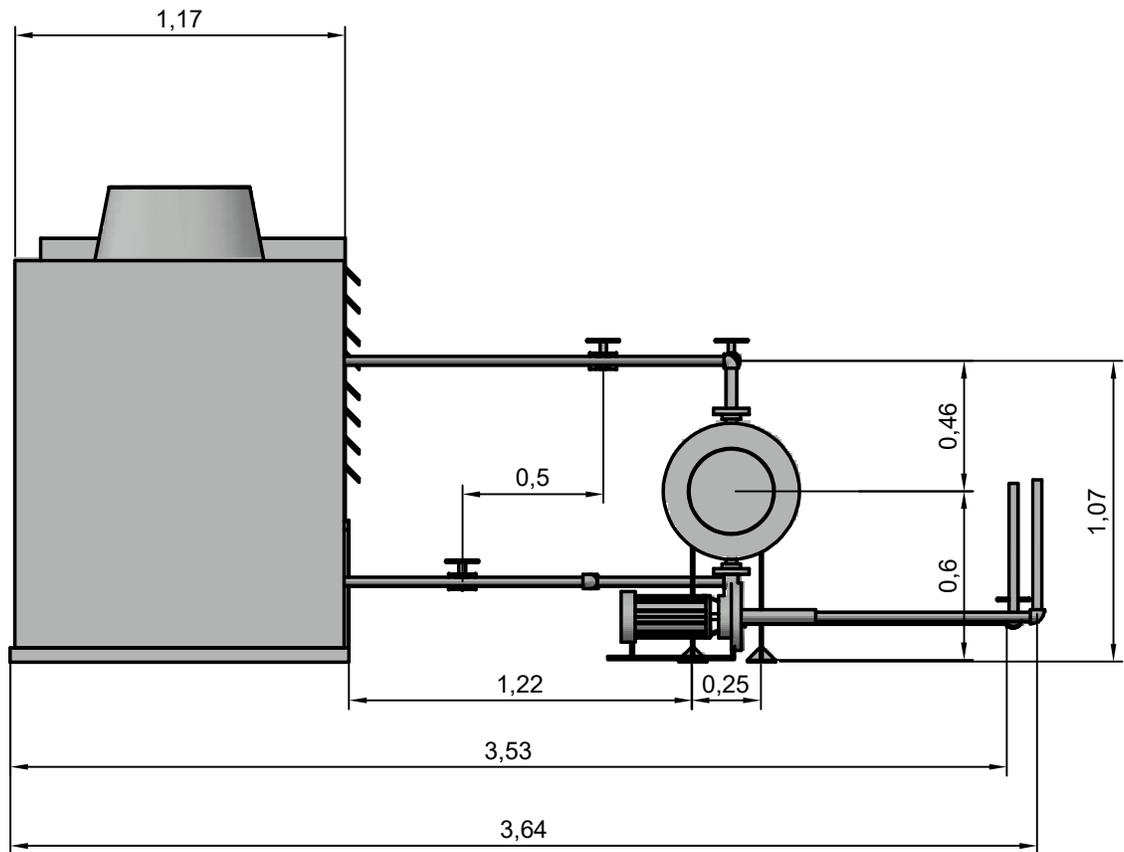


Referencias	
1	Unidad central de enfriamiento de agua.
2	Enfriador evaporativo.
3	Soporte de la unidad de enfriamiento evaporativo.
4	Intercambiador de calor de enfriador evaporativo.
5	Intercambiador de calor de la unidad central de enfriamiento de agua.
6	Bomba de impulsión de la red de agua.
7	Soporte de los intercambiadores de calor.

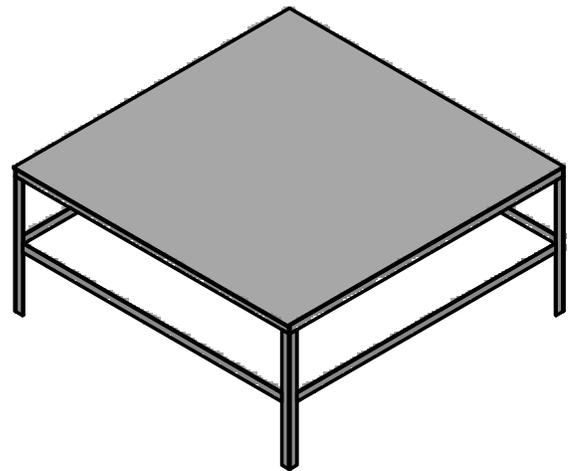
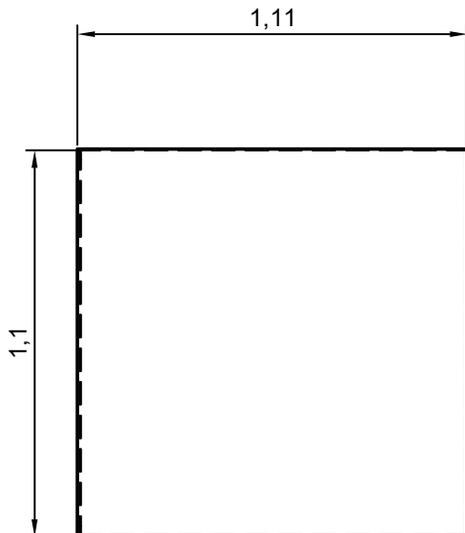
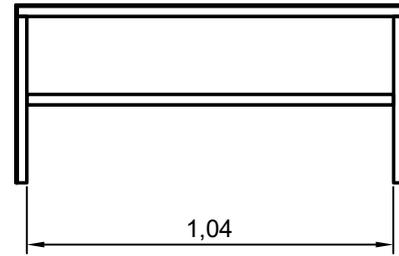
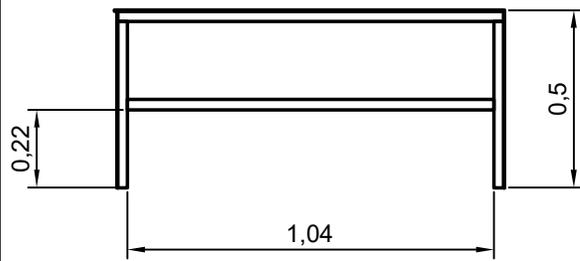
VISTA EN PERSPECTIVA Y VISTA FRONTAL	Dibujo	Fecha	Nombre	PROYECTO FINAL	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL LA RIOJA
	Revisado	3/05	Chocobar		
	Aprobado		Baigorri		
	Esc		Argerter C	Plano número	2.01
	1:40			Fecha de emisión	12/03/2022
Tolerancia N/A Rugosidad N/A	<b>VISTA GENERAL DE LA INSTALACIÓN DE EQUIPOS</b>				



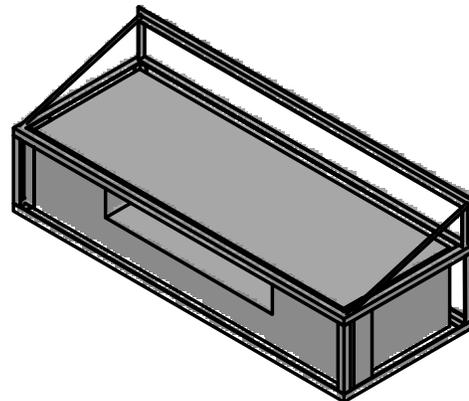
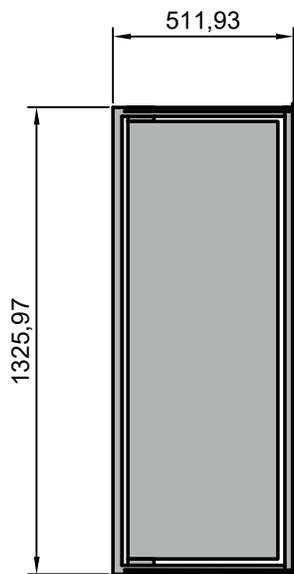
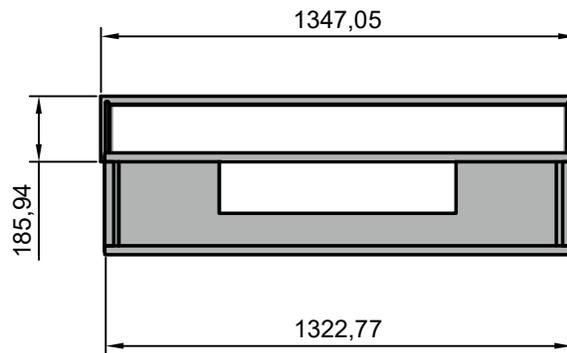
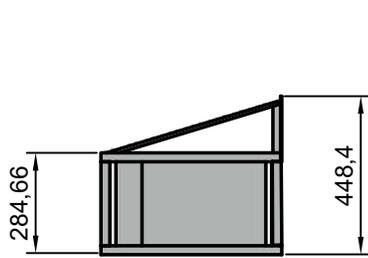
VISTA DE PLANTA	Dibujo	Fecha	Nombre	PROYECTO FINAL	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL LA RIOJA
	Revisado	3/05	Chocobar		
	Aprobado		Baigorri		
	Esc		Argerter C	Plano número	2.02
	1:20			Fecha de emisión	12/03/2022
		<b>DISPOSICIÓN DE EQUIPOS EXTERIORES</b>			
	Tolerancia N/A Rugosidad N/A				



VISTA NORESTE	Dibujo	Fecha	Nombre	PROYECTO FINAL	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL LA RIOJA
	Revisado	3/05	Chocobar		
	Aprobado		Baigorri		
	Esc		Argenter C	Plano número	2.03
	1:20	DISPOSICIÓN GENERAL DE EQUIPOS			Fecha de emisión
	Tolerancia				
	N/A				
	Rugosidad				
	N/A				



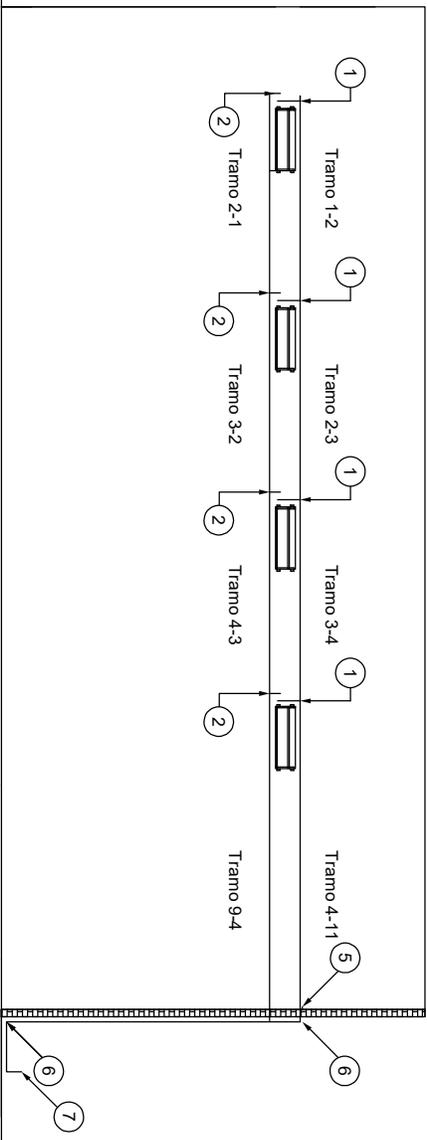
CANTIDAD: 1	Dibujo	Fecha	Nombre	PROYECTO FINAL	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL LA RIOJA
	Revisado	3/05	Chocobar		
	Aprobado		Baigorri		
	Esc		Argenter C	Plano número	2.04
	1:10	<b>SOPORTES PARA UNIDADES ENFRIADOR EVAPORATIVO</b>		Fecha de emisión	12/03/2022
Tolerancia N/A Rugosidad N/A					



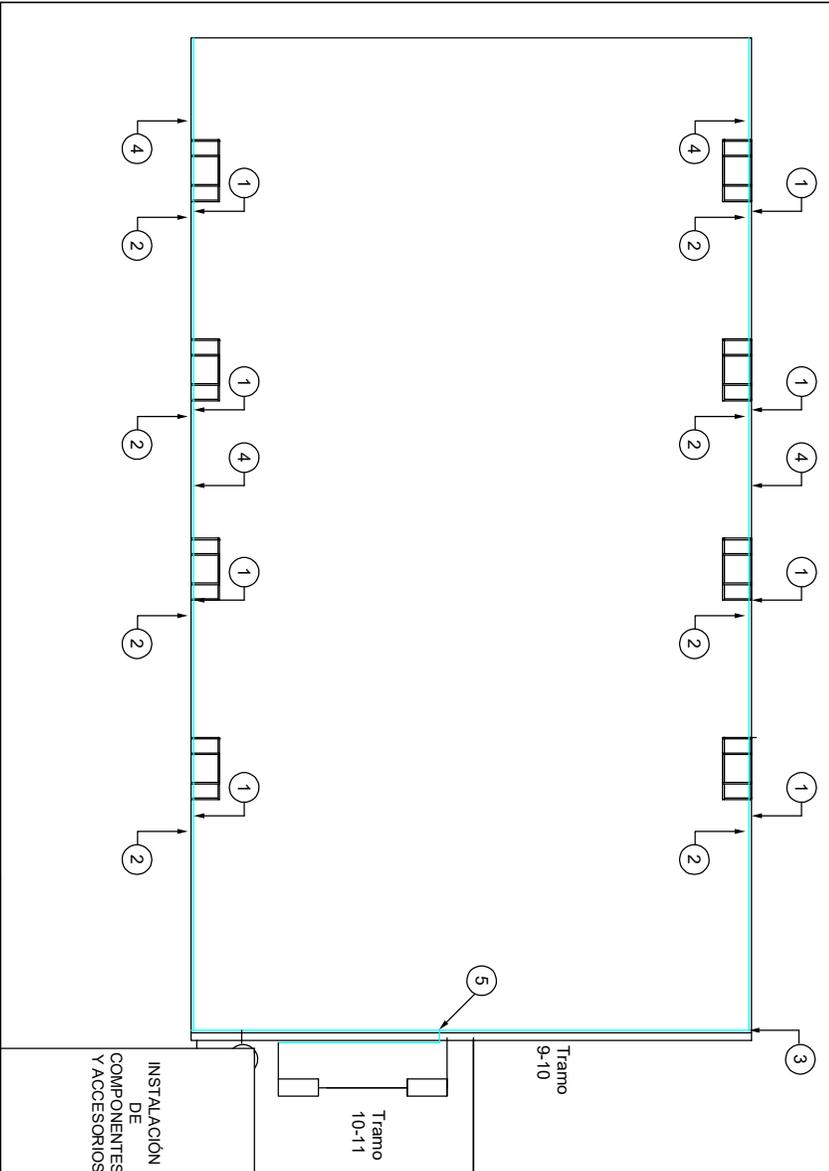
CONSTRUIDOS  
EN HIERRO  
ANGULO 25 X  
25 X 3,2  
CANTIDAD: 8

	Fecha	Nombre	PROYECTO FINAL	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL LA RIOJA
Dibujo	3/03	Chocobar		
Revisado		Baigorri		
Aprobado		Argenter C		
Esc	1:1		SOPORTES PARA UNIDADES FANCOIL	Plano número
				3.01
Tolerancia N/A Rugosidad N/A				Fecha de emisión
				12/03/2022



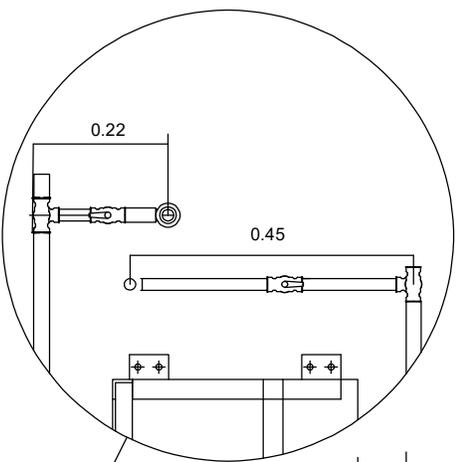


Referencias			
Tramo	Caudal	Diámetro (mm)	Longitud
Tramo 1-2	2000	40	4
Tramo 2-3	4000	40	4
Tramo 3-4	6000	40	4
Tramo 4-11	8000	50	14
<b>Alimentación</b>			
Tramo 11-10	16000	50	7
Tramo 5-6	2000	40	4
Tramo 6-7	4000	40	4
Tramo 7-8	6000	40	4
Tramo 8-11	8000	50	8
Tramo 2-1	2000	40	4
Tramo 3-2	6000	40	4
Tramo 4-3	8000	40	4
Tramo 9-4	16000	50	6
<b>Retorno</b>			
Tramo 6-5	2000	40	4
Tramo 7-6	4000	40	4
Tramo 8-7	6000	40	4
Tramo 9-8	8000	40	5
Tramo 9-10	16000	50	6
<b>Accesorios</b>			
1	Te	40	
2	Codo	40	
3	Te	50	
4	Codo	50	
5	Válvula	31	
7	Bomba	50	

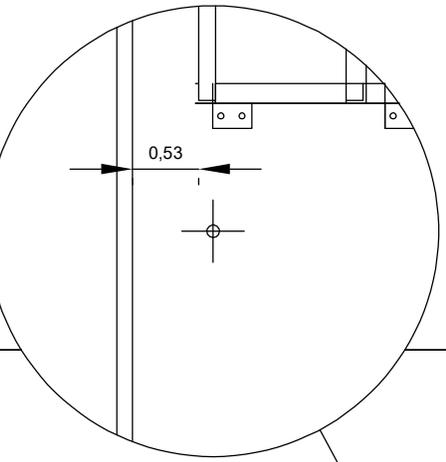


INSTALACION DE COMPONENTES Y ACCESORIOS		Esc 1:1	
Dibujo	02/05	Fecha	Nombre
Revisado	Choobbar		Balgouri
Aprobado	Algerfer C		Algerfer C
Tolerancia N/A		PROYECTO FINAL	
Rugosidad N/A		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL LA RIOJA	
		Plano número	
		3.03	
Fecha de emisión		02/05/2022	

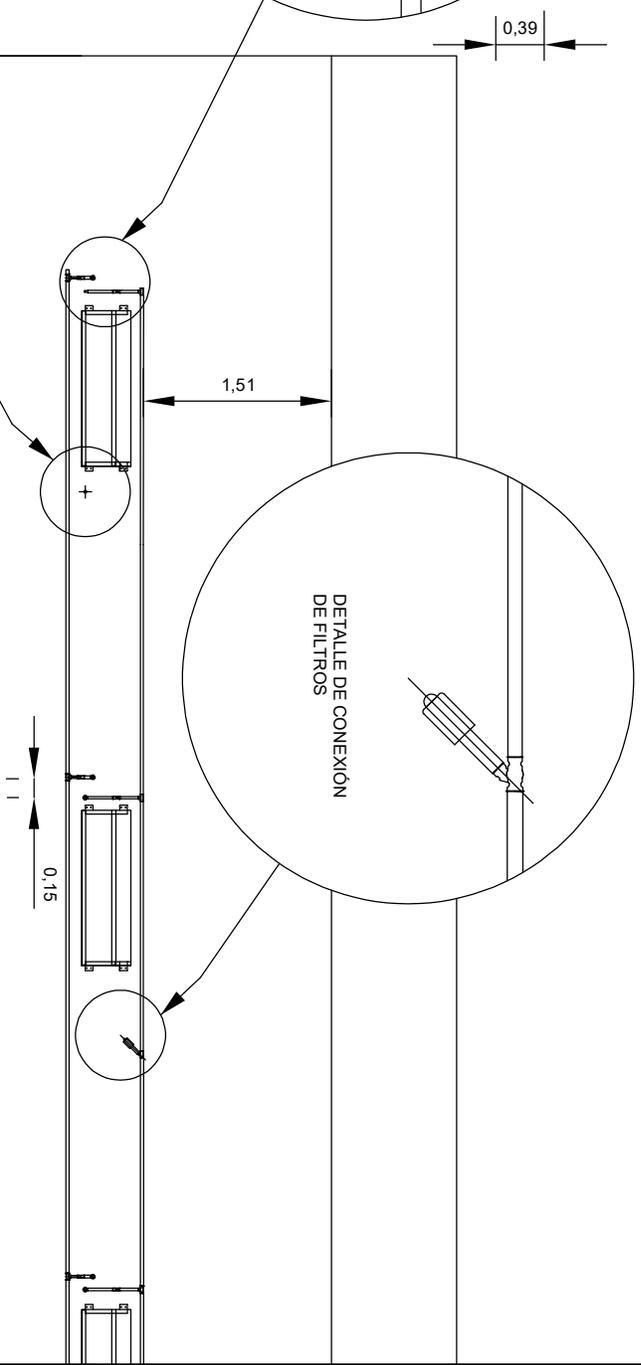
## RED DE TUBERÍAS INTERNAS



DETALLE DE LA CONEXIÓN PRIMARIA ALIMENTACIÓN Y RETORNO

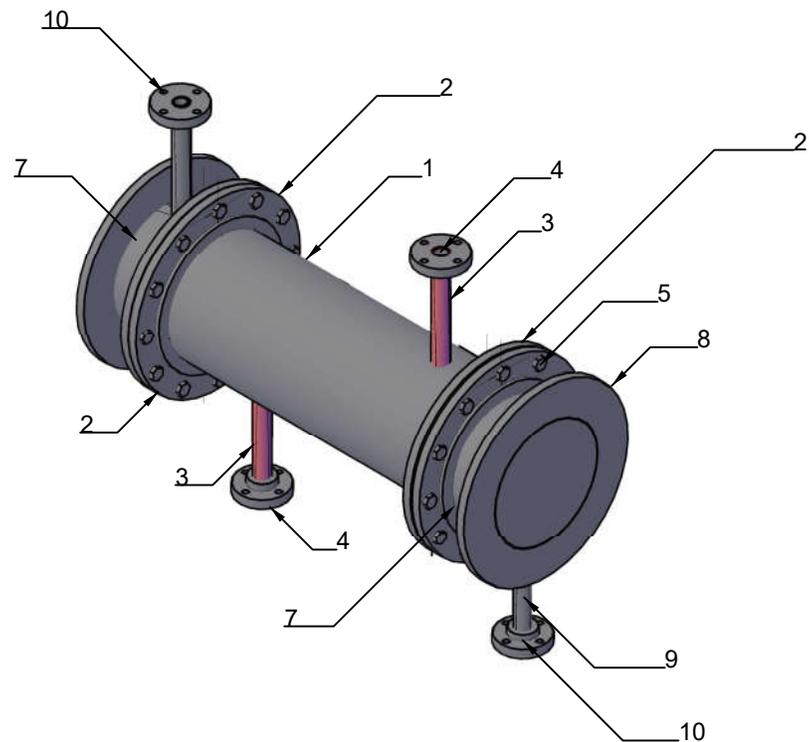


DETALLE CONEXIÓN DE DRENAJE



DETALLE DE CONEXIÓN DE FILTROS

DETALLES DE CONEXIÓN EN TUBERÍAS DE PVC		 Tolerancia N/A Rugosidad N/A	
Esc VARIOS		Fecha Nombre	
Dibujó	02/05 Chocobar	PROYECTO FINAL	
Revisado	02/05 Baigorri	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL LA RIOJA	
Aprobado	02/05 Algerter C	Plano número	
MONTAJE DE RED INTERNA		3.04	
		Fecha de emisión	
		02/05/2022	

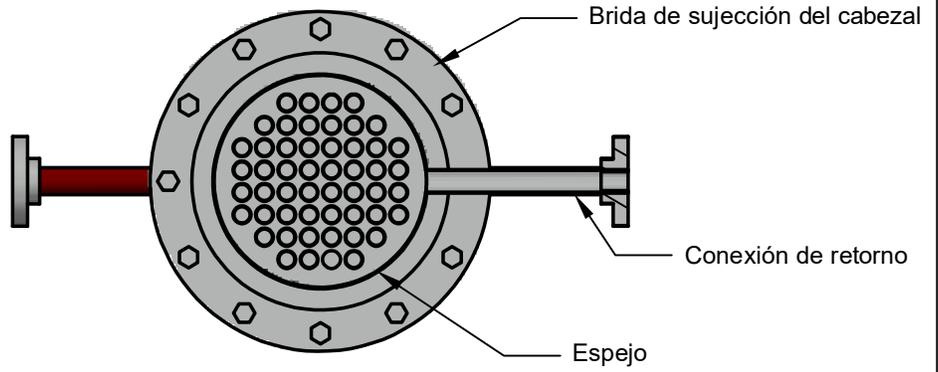


Referencias				
	Num.	Elemento	Diámetro nominal (mm)	Material
Coraza	1	Cuerpo	305	AISI 304
	2	Brida de sujeción	305	AISI 304
	3	Caño de conexión	38	AISI 304
	4	Brida de conexión	38	AISI 304
	5	Pernos de conexión	22	AISI 304
	6	Junta	305	Polímero
Cabezal	7	Cuerpo	305	AISI 304
	8	Tapa de cabezal	305	AISI 304
	9	Brida de sujeción	305	AISI 304
	10	Caño de conexión	38	AISI 304
	11	Brida de conexión	38	AISI 304

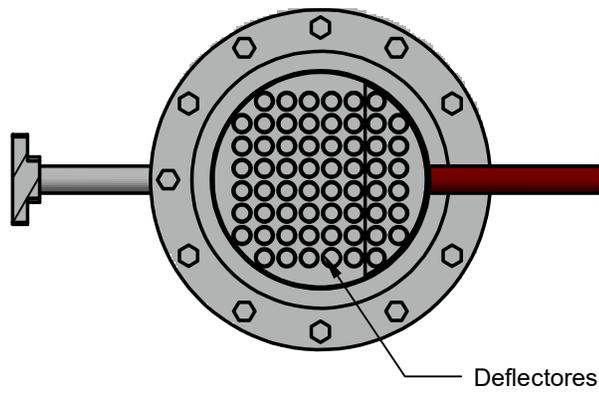
CANTIDAD: 1	Dibujo	Fecha	Nombre	PROYECTO FINAL	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL LA RIOJA
	Revisado	1/05	Chocobar		
	Aprobado		Baigorri		
	Esc		Argerter C	Plano número	4.01
	1:20	 <b>Intercambiador de calor de tubo y coraza para el enfriador central de agua</b>			Fecha de emisión
Tolerancia N/A Rugosidad N/A					



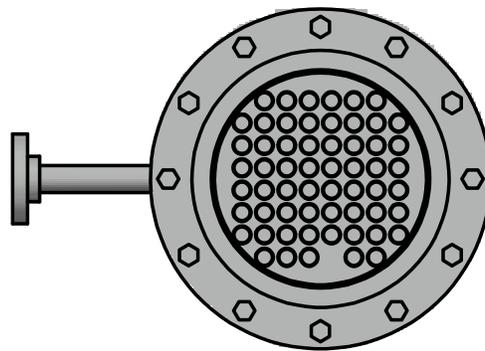
SECCIÓN A-A



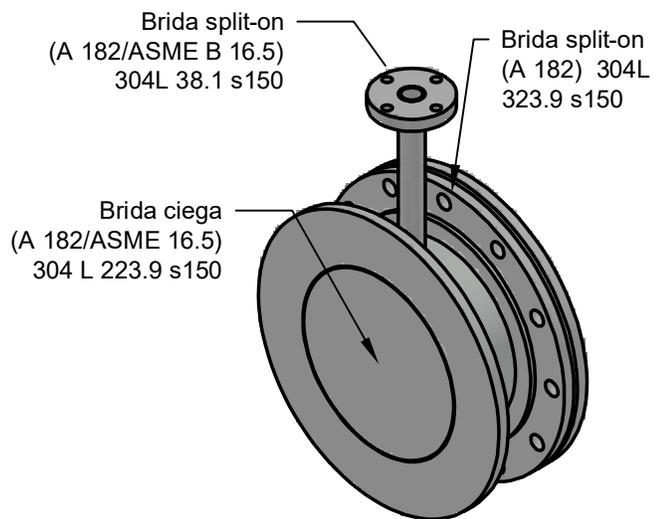
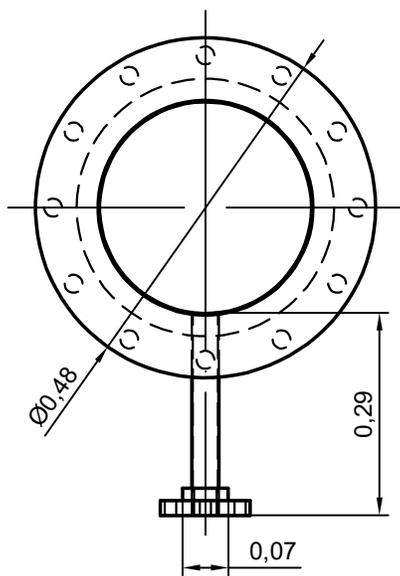
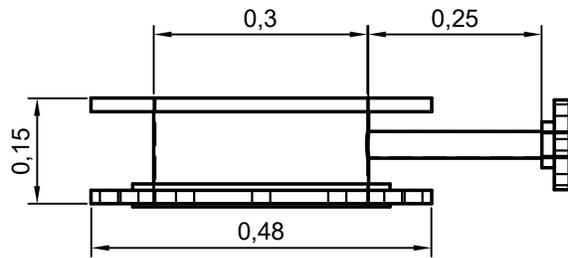
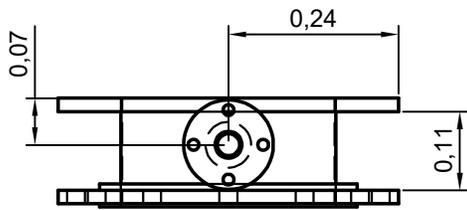
SECCIÓN B-B



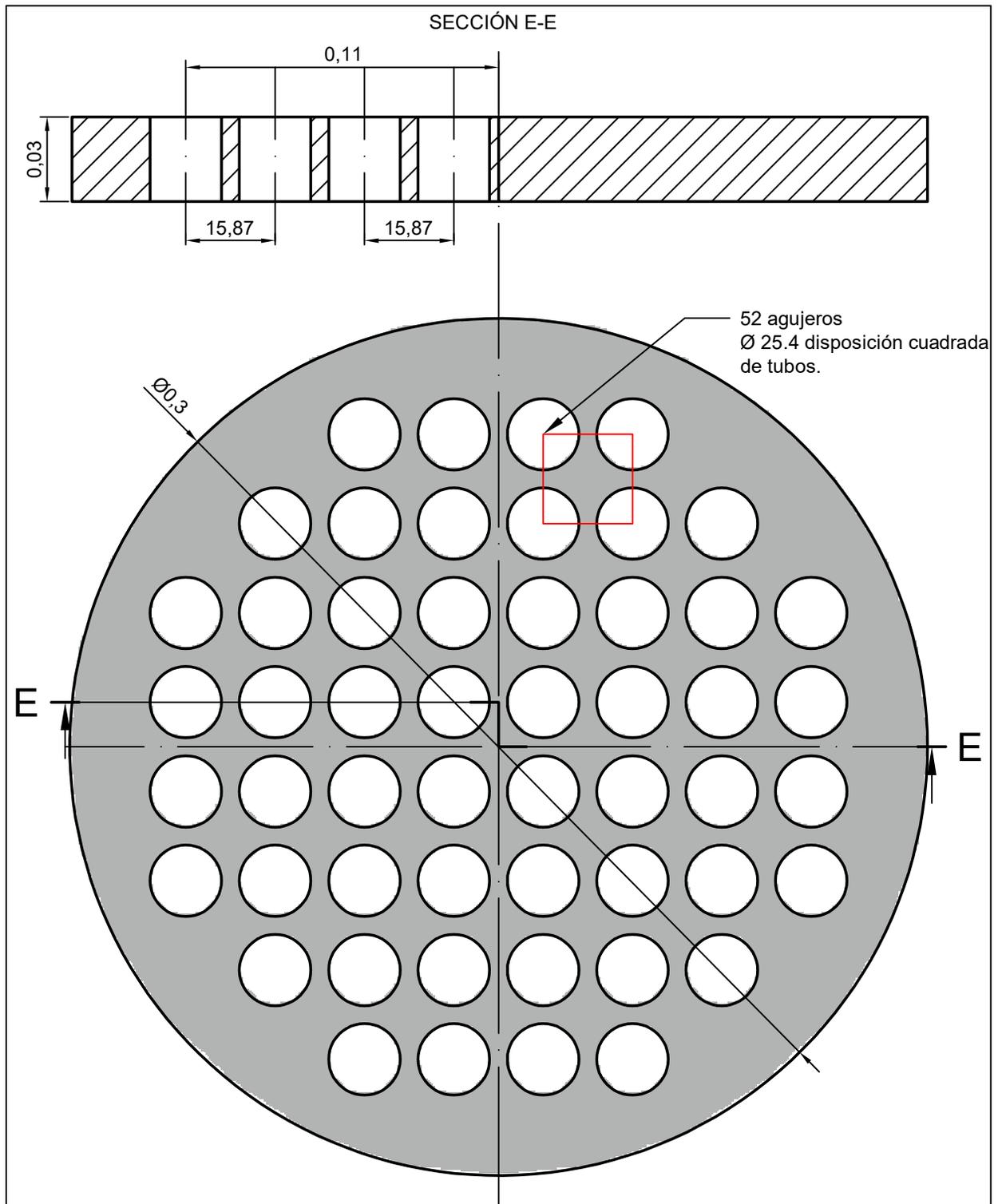
SECCIÓN C-C



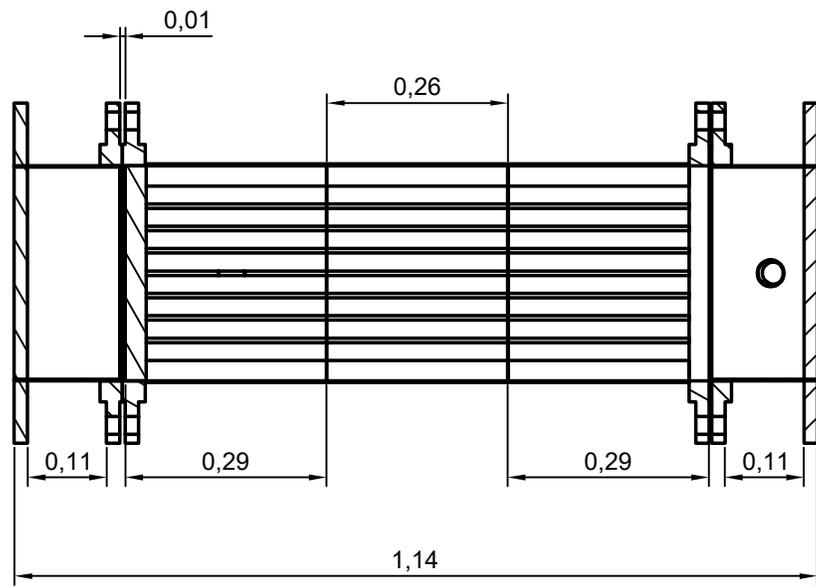
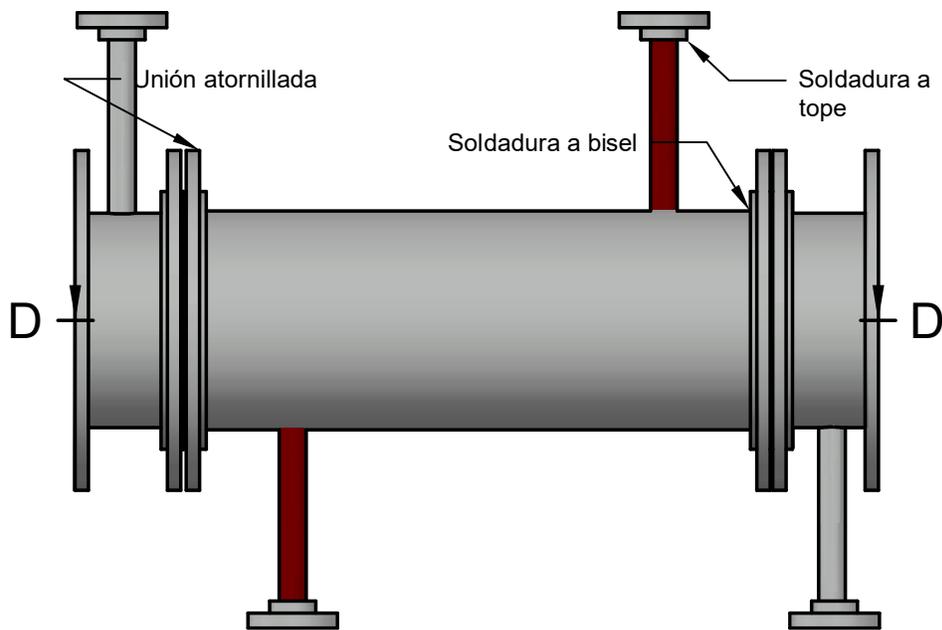
Intercambiador del equipo central de agua fría.	Dibujo	Fecha	Nombre	PROYECTO FINAL	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL LA RIOJA
	Revisado	3/03	Chocobar		
	Aprobado		Baigorri		
	Esc		Argenter C	Plano número	4.03
	1:10	SECCIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR			Fecha de emisión
	Tolerancia N/A				Rugosidad N/A



Intercambiador del equipo central de agua fría..	Dibujo	3/05	Chocobar	PROYECTO FINAL	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL LA RIOJA	
	Revisado		Baigorri			
	Aprobado		Argerter C			
	Esc	1:10	<b>CABEZAL</b>		Plano número	<b>4.04</b>
		Tolerancia N/A Rugosidad N/A			Fecha de emisión	<b>31/06/2022</b>



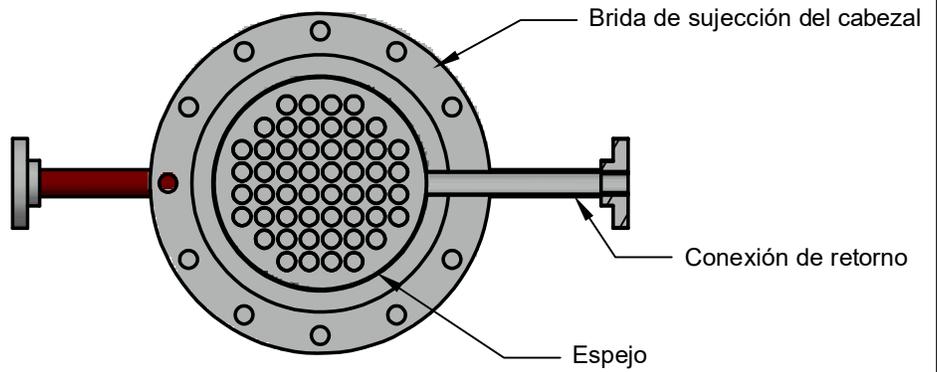
Intercambiador del equipo central de agua fria.. Cantidad: 2.	Dibujo	03/06	Chocobar	PROYECTO FINAL	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL LA RIOJA
	Revisado		Baigorri		
	Aprobado		Argerter C		
	Esc	<b>DIMENSIONES DE LOS ESPEJOS</b>			Plano número
	Fecha de emisión				31/06/2022
Tolerancia 0.01 Rugosidad NH6					



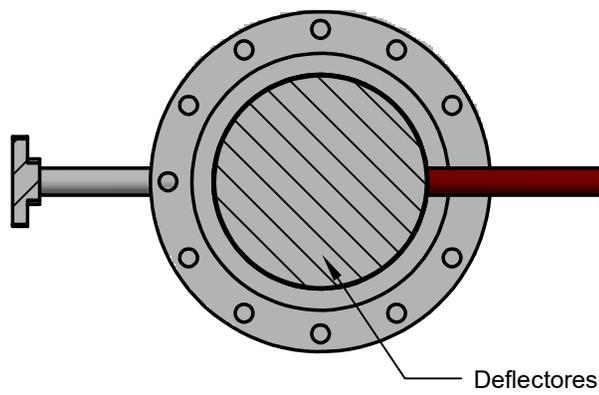
Intercambiador del equipo central de agua fría.	Dibujo	05/06	Chocobar	PROYECTO FINAL	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL LA RIOJA	
	Revisado		Baigorri			
	Aprobado		Argenter C			
	Esc	1:10	UBICACIÓN DE LOS DEFLECTORES Y UNIONES		Plano número	4.06
		Tolerancia N/A Rugosidad N/A			Fecha de emisión	31/06/22



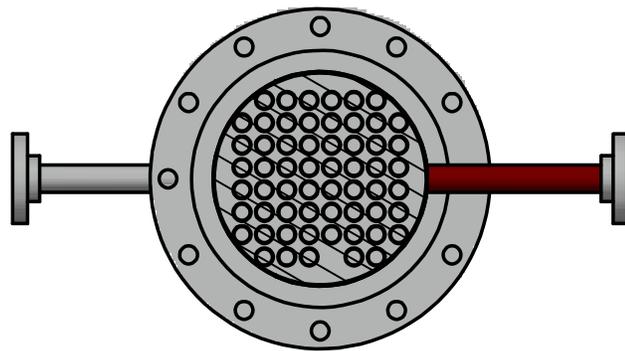
SECCIÓN A-A



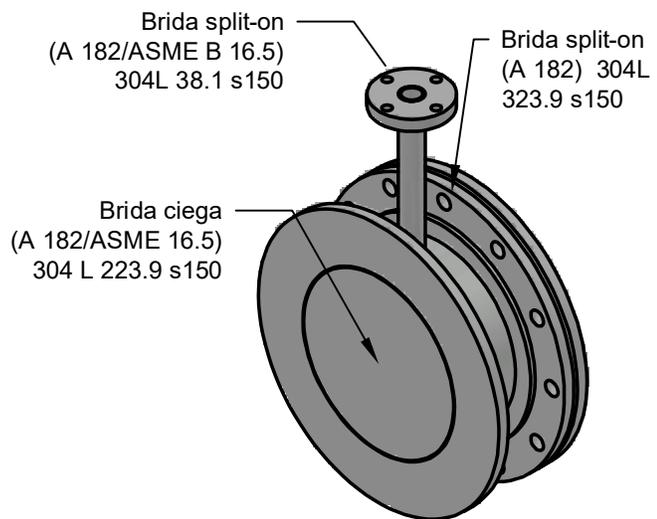
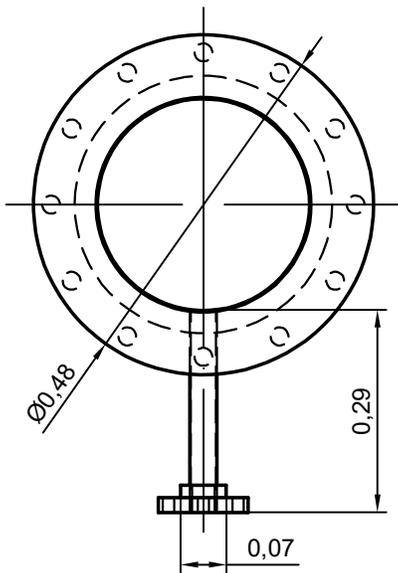
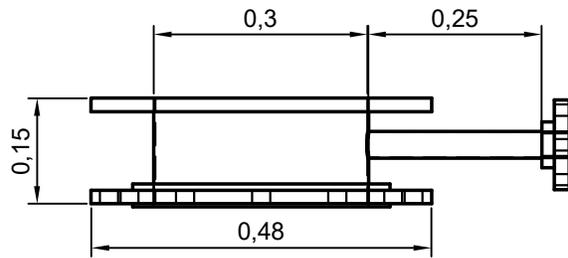
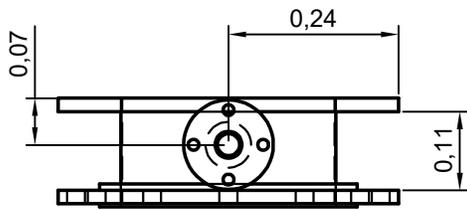
SECCIÓN B-B



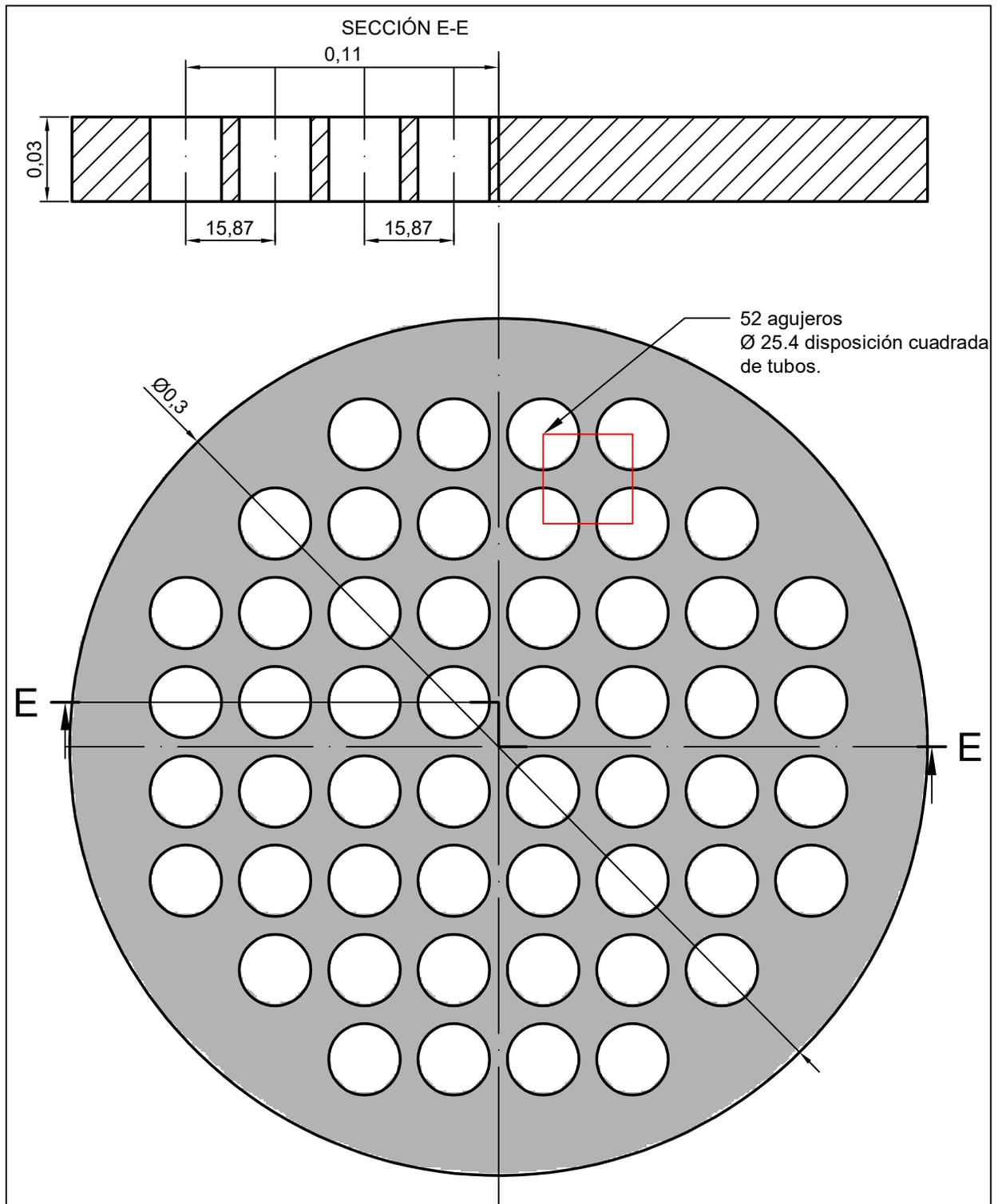
SECCIÓN C-C



Intercambiador de tubo y coraza del enfriador evaporativo.	Dibujo	Fecha	Nombre	PROYECTO FINAL	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL LA RIOJA
	Revisado	3/03	Chocobar		
	Aprobado		Baigorri		
	Esc		Argenter C	Plano número	5.02
	1:10			Fecha de emisión	31/06/2022
		<b>SECCIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR</b>			
Tolerancia N/A	Rugosidad N/A				



Intercambiador de tubo y coraza del enfriador evaporativo. Cantidad: 2	Dibujo	3/05	Chocobar	PROYECTO FINAL	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL LA RIOJA	
	Revisado		Baigorri			
	Aprobado		Argerter C			
	Esc	1:10			Plano número	5.03
	Tolerancia N/A Rugosidad N/A	CABEZAL			Fecha de emisión	31/06/2022



Intercambiador de tubo y coraza del enfriador evaporativo.a. Cantidad: 2.	Dibujo	Fecha	Nombre	PROYECTO FINAL	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL LA RIOJA
	Revisado	03/06	Chocobar		
	Aprobado		Baigorri		
	Esc		Argerter C	Plano número	5.04
	1:2	 <b>DIMENSIONES DE LOS ESPEJOS</b>		Fecha de emisión	31/06/2022
Tolerancia	0.01			Rugosidad	NH

## 15.7 Tablas de diseño

**Tabla 21** Propiedades del agua

T		$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\beta \times 10^4$ (1/K)	$C_p$ (J/kg·K)	$k$ (W/m·K)	$\alpha \times 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$\mu \times 10^6$ (N·s/m <sup>2</sup> )	$\nu \times 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	Pr	$g\beta/v^2 \times 10^{-9}$ (1/K·m <sup>3</sup> )
(K)	(°C)									
273	0	999.9	-0.7	4226	0.558	0.131	1794	1.789	13.7	-
278	5	1000	-	4206	0.568	0.135	1535	1.535	11.4	-
283	10	999.7	0.95	4195	0.577	0.137	1296	1.300	9.5	0.551
288	15	999.1	-	4187	0.585	0.141	1136	1.146	8.1	-
293	20	998.2	2.1	4182	0.597	0.143	993	1.006	7.0	2.035
298	25	997.1	-	4178	0.606	0.146	880.6	0.884	6.1	-
303	30	995.7	3.0	4176	0.615	0.149	792.4	0.805	5.4	4.540
308	35	994.1	-	4175	0.624	0.150	719.8	0.725	4.8	-
313	40	992.2	3.9	4175	0.633	0.151	658.0	0.658	4.3	8.833
318	45	990.2	-	4176	0.640	0.155	605.1	0.611	3.9	-
323	50	988.1	4.6	4178	0.647	0.157	555.1	0.556	3.55	14.59
348	75	974.9	-	4190	0.671	0.164	376.6	0.366	2.23	-
373	100	958.4	7.5	4211	0.682	0.169	277.5	0.294	1.75	85.09
393	120	943.5	8.5	4232	0.685	0.171	235.4	0.244	1.43	140.0
413	140	926.3	9.7	4257	0.684	0.172	201.0	0.212	1.23	211.7
433	160	907.6	10.8	4285	0.680	0.173	171.6	0.191	1.10	290.3
453	180	886.6	12.1	4396	0.673	0.172	152.0	0.173	1.01	396.5
473	200	862.8	13.5	4501	0.665	0.170	139.3	0.160	0.95	517.2
493	220	837.0	15.2	4605	0.652	0.167	124.5	0.149	0.90	671.4
513	240	809.0	17.2	4731	0.634	0.162	113.8	0.141	0.86	848.5
533	260	779.0	20.0	4982	0.613	0.156	104.9	0.135	0.86	1076
553	280	750.0	23.8	5234	0.588	0.147	98.07	0.131	0.89	1360
573	300	712.5	29.5	5694	0.564	0.132	92.18	0.128	0.98	1766

Nota: Tomado de Procces Heat Transfer (p.668), Robert Serth, 2007, Elsevier.

**Tabla 22** Penetración del tubo en boquilla y tiempo requeridos

$\emptyset$	Penetración	Tiempo de calentamiento
20mm	1,2cm	5 segundos
25mm	1,3cm	7 segundos
32mm	1,45cm	8 segundos
40mm	1,6cm	12 segundos
50mm	1,8cm	18 segundos
63mm	2,4cm	24 segundos
75mm	2,6cm	30 segundos
90mm	2,9cm	40 segundos

Nota: Adaptado de Dossier técnico de fusión (p.42), IPS

**Tabla 23** Transmitancia térmica de muros y techos K(Kcal/hm<sup>2</sup>°C)

CERRAMIENTOS VERTICALES.		
1) Mampostería de ladrillos 30 cm de espesor		1,62
2) Mampostería de ladrillos 15 cm de espesor		2,30
3) Pared de 30 cm con 3 cm de cámara de aire		1,31
4) Pared de ladrillos huecos 2 agujeros	11 cm	2,40
	13 cm	2,20
	15 cm	1,95
	15 cm	1,70
	18 cm	1,64
	21 cm	1,58
	23 cm	1,50
	24 cm	1,45
	28 cm	1,30

Nota: Tomado de Manual de cálculo de aire acondicionado y calefacción (p.38), por Néstor Quadri, 1978, Alsina.

**Tabla 24 Diferencia equivalente de temperatura (°C)**

Tipo	Orientación y condiciones	Coeficiente de transmisión K	HORA SOLAR																							
			6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23						
MUROS	SE	3	5	11	14	16	17	16	13	10	10	10	10	10	10	9	8	7	6	5						
		2,3	2	2	5	10	16	15	14	11	10	10	10	10	10	9	9	8	7	6						
		1,6	4	4	5	5	5	8	12	11	10	9	9	9	9	9	9	9	8	7						
		0,8	5	5	6	6	6	6	6	8	10	11	10	9	8	8	8	8	8	8						
	E	3	3	12	19	21	23	22	20	14	11	10	10	10	10	9	8	7	6	5						
		2,3	2	2	8	14	19	21	20	13	10	10	10	10	10	9	9	8	7	6						
		1,6	5	5	6	7	10	14	16	17	16	14	12	11	10	10	10	9	8	7						
		0,8	8	8	8	8	8	8	8	11	12	13	12	12	11	10	10	10	10	10						
	NE	3	8	8	10	13	17	18	19	17	16	13	11	11	10	9	8	7	6	5						
		2,3	3	3	5	10	14	16	18	17	16	14	12	11	10	10	9	9	8	7						
		1,6	6	6	6	6	6	9	11	12	12	13	12	12	10	10	9	9	8	7						
		0,8	7	7	7	7	7	7	7	9	10	11	11	12	11	11	10	10	9	9						
N	3	2	2	2	3	5	10	15	17	19	18	17	14	11	9	8	6	6	5							
	2,3	2	2	2	2	2	6	9	14	16	16	17	15	14	11	9	8	7	6							
	1,6	5	5	5	5	5	5	7	9	11	12	13	12	11	10	9	8	8	8							
	0,8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	8	10	11	11	12	11	10	9							

Tipo	Orientación y condiciones	Coeficiente de transmisión K	HORA SOLAR																							
			6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23						
MUROS	NO	3	1	1	1	1	2	5	6	13	17	21	25	26	25	22	19	16	10	6						
		2,3	4	4	4	4	4	4	4	7	9	16	20	22	23	22	21	14	8	6						
		1,6	6	6	6	6	6	6	6	7	9	10	13	15	15	16	15	15	11	11						
		0,8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8	11	12	13	14	10					
	O	3	1	1	1	1	2	4	6	10	14	20	25	27	29	24	19	15	10	7						
		2,3	4	4	4	4	4	4	5	6	8	13	17	21	25	26	22	18	11	8						
		1,6	6	6	6	6	6	6	6	7	8	9	12	14	16	16	17	17	13	13						
		0,8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	10	11	14	16					
	SO	3	1	1	1	1	2	4	6	8	9	13	16	21	22	23	21	13	6	5						
		2,3	1	1	1	1	1	2	4	6	7	8	9	14	19	20	21	14	9	7						
		1,6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	7	9	12	14	14	15	10	10						
		0,8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	8	10	12	13					
S	3	1	1	1	1	1	3	5	7	8	9	11	10	9	8	7	6	5	4							
	2,3	1	1	1	1	1	2	3	4	6	7	8	9	10	9	9	8	7	6							
	1,6	2	2	2	2	2	2	3	4	4	5	5	5	6	7	6	6	5	5							
	0,8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	4	4	5	5	6	6	7	6	6						
TECHOS	4	1	1	1	1	2	6	11	16	20	24	26	28	27	25	22	18	15	11							
	3	2	2	2	2	4	8	11	15	19	23	25	26	27	25	22	19	16	14							
	2,3	5	5	5	5	6	8	11	15	18	21	24	25	26	24	22	20	18	16							
	1,6	8	8	8	8	8	9	11	15	18	20	22	24	25	24	23	21	20	18							
	0,8	10	10	10	10	10	11	15	17	18	20	22	23	24	22	21	21	20	18							

Para 35° de latitud sur, paredes y techos opacos. Variación diaria temperatura 11 °C. Diferencia temperatura aire exterior-interior (15 horas) 10 °C. Corrección si el Δt de cálculo es mayor, por ejemplo, 12 °C. Sumar a los valores de tabla 2 °C.

Tomado de Manual de cálculo de aire acondicionado y calefacción (p.100), por Néstor Quadri, 1978, Alsina.

**Tabla 25 Resistencia térmica de espacios entre aire**

Denominación	Calor de abajo	Calor de arriba
1 Espacio entre chapas de fibrocemento y cielo raso	0,17	0,23
2 Espacio entre chapas de aluminio o hierro galvanizado y cielo raso	0,26	0,40
3 Espacio entre tejas sobre entablonado y cielo raso	0,20	0,27

Nota: Tomado de Manual de cálculo de aire acondicionado y calefacción (p.40), por Néstor Quadri, 1978, Alsina.

**Tabla 26 Especificaciones del fan coil de 2 tubos Carrier B42**

		7k	9k	12k	18k	24k	30k	36k	44k	55k	
		AE	STD	STD	AE	STD	STD	STD	STD	STD	
Caudal de aire (m <sup>3</sup> /h)	m <sup>3</sup> /h	410	654	646	934	1133	1291	1461	1631	2226	
	CFM	240	385	380	550	667	760	860	960	1310	
Calor Enfriamiento	kcal/h	2170	2120	2845	4620	5235	6750	8445	10420	12830	
	Btu/h	8605	8407	11282	18322	20760	26768	33490	41323	50880	
Calor Sensible	kcal/h	1654	1815	2295	3530	4090	5130	6275	7565	9600	
	Btu/h	6560	7198	9101	13999	16220	20344	24885	30001	38071	
Caudal de agua	l/s	0,12	0,12	0,17	0,27	0,30	0,38	0,49	0,59	0,72	
	m <sup>3</sup> /h	0,44	0,4	0,6	1,0	1,1	1,4	1,7	2,1	2,6	
Pérdida de Carga	KPa	4,4	41,6	6,7	24,0	29,7	28,9	43,3	43,3	62,0	
	mCA	0,4	4,2	0,7	2,4	3,0	2,9	4,4	4,4	6,3	
Calentamiento	kcal/h	4434	4740	4740	5505	6160	6878	9615	11080	14065	
	Btu/h	17585	18797	18797	21831	24429	27276	38130	43940	55778	
Caudal de agua	l/s	0,12	0,13	0,13	0,15	0,17	0,19	0,27	0,31	0,39	
	m <sup>3</sup> /h	0,44	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	1,0	1,1	1,4	
Pérdida de Carga (agua)	KPa	3,4	37,16	37,16	6,47	7,93	14,62	26,30	43,40	66,00	
	mCA	0,35	3,8	3,8	0,7	0,8	1,5	2,7	4,4	6,7	
Peso	kg	21	24,8	24,8	28,5	28,5	34,8	34,8	50,4	50,4	
Dimensiones: AlturaxAnchuraxProfundidad		mm		273 x 616 x 424			273 x 866 x 424			273 x 1246 x 424	
Alimentación Eléctrica		220V - 1ph - 50/60hz o 115V - 1ph - 60hz (hasta 36000 Btu/h)									

STD = Standard  
AE = Alta Eficiencia

**Tabla 27: Número de renovaciones de aire**

ACTIVIDAD DE LA EMPRESA	Nº DE RENOVACIONES PANEL ENFRIADOR 5090 50mm	PANEL ENFRIADOR 5090 100mm
Industrias textiles	25-29	22-26
Talleres de confección	22-25	20-22
Salas de máquinas	18-22	16-20
Industria manufacturera	18-22	16-20
Fundiciones	25-30	22-27
Talleres de pintura	25-30	22-27
Fábricas de plástico	30-35	27-31
Panaderías	20-25	18-22
Restaurantes	18-22	16-20
Cafés y bares	18-22	16-20
Cantinas	18-22	16-20
Salas de fiesta	25-29	22-26
Bodegas de vino	30-40	27-36
Discotecas y pubs	25-29	22-26
Cines y teatros	14-18	13-16

Nota: Tomado de Tarifa Marzo (p.10), Met man,2016.

**Tabla 28 Modelos de enfriadores evaporativos**

MODELO Model Modèle	CAUDAL DE AIRE Air flow Débit d'air	PRESIÓN Pressure Pression	ESPESOR PANEL ENFRIADOR Cooling panel thickness Épaisseur panneau	EFICACIA PANEL ENFRIADOR Cooling panel efficiency Efficacité panneau	POTENCIA MOTOR VENTILADOR Engine fan power Puissance moteur ventilateur	POTENCIA BOMBA Pump power Puissance Pompe
Standard	m <sup>3</sup> /h	Pa	mm	%	kW V	W A V
AD-07-H	5.500	157	50	68	0.55 A	16 0.17 A
AD-09-H	9.000	57	50	66	0.75 B	16 0.17 A
AD-12-H	12.000	128	75	78	1.50 B	16 0.17 A
AD-15-H	15.000	98	100	85	2.20 B	16 0.17 A
Inox						
AD-07-H Inox	5.500	157	50	68	0.55 A	16 0.17 A
AD-09-H Inox	9.000	57	50	66	0.75 B	16 0.17 A
AD-12-H Inox	12.000	128	75	78	1.50 B	16 0.17 A
AD-15-H Inox	15.000	98	100	85	2.20 B	16 0.17 A

Nota: Tomado de Tarifa Marzo (p.10), Met man,2016.

**Tabla 29:** Viscosidad del agua a distintas temperaturas

Temperature (°F)	Viscosity of steam and water in centipoise										
	1 psia	2 psia	5 psia	10 psia	20 psia	50 psia	100 psia	200 psia	500 psia	1000 psia	2000 psia
Saturated water	0.667	0.524	0.388	0.313	0.255	0.197	0.164	0.138	0.111	0.094	0.078
Saturated steam	0.010	0.010	0.011	0.012	0.012	0.013	0.014	0.015	0.017	0.019	0.023

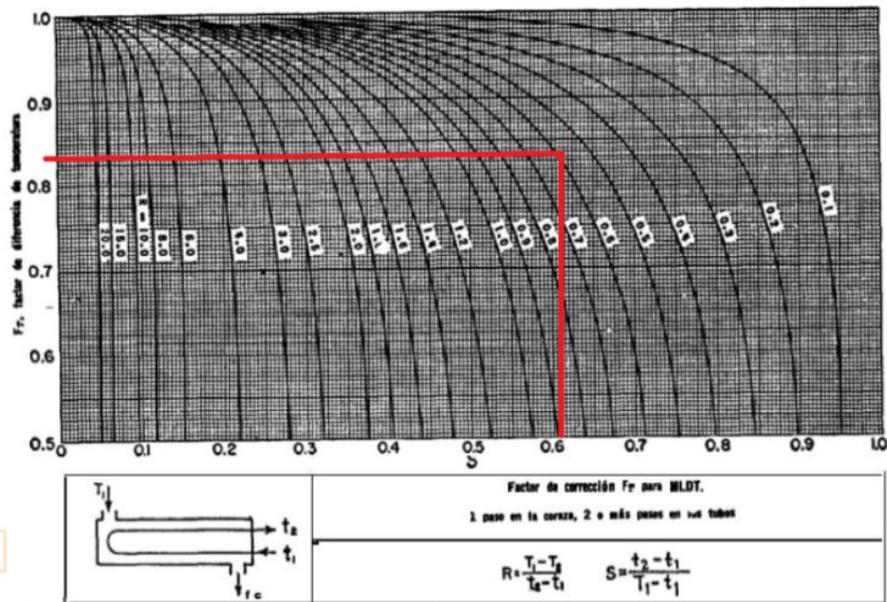
Tomado de Procesos de transferencia de calor (p.696), por Robert Serth, 2007, Elsevier.

**Tabla 30** Rangos típicos para el número de Prandtl

Fluido	Pr
Metales líquidos	0.004-0.030
Gases	0.7-1.0
Agua	1.7-13.7
Fluidos orgánicos ligeros	5-50
Aceites	50-100 000
Glicerina	2 000-100 00

Nota: Tomado de Transferencia de Calor (p.131), Yunus Cengel, 2011, Mc Graw Hill Educación.

**Tabla 31:** Factores de corrección de DMLT.



Factores de corrección MLDT para intercambiadores 1-2. (Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, 2a. ed., New York, 1949)

**Tabla 32: Selección del diámetro de coraza.**

*Tube Counts for 1-in. OD Tubes on 1.25-in. Triangular Pitch*

Shell ID (in.)	TEMA L or M				TEMA P or S				TEMA U			
	Number of passes				Number of passes				Number of passes			
	1	2	4	6	1	2	4	6	2	4	6	
8	27	26	8	12	18	14	8	12	14	12	6	
10	42	40	34	24	33	28	16	18	28	24	24	
12	64	66	52	44	51	48	42	44	52	40	40	
13½	81	74	62	56	73	68	52	44	64	56	52	
15½	106	106	88	92	93	90	78	76	90	80	78	
17½	147	134	124	114	126	122	112	102	122	112	102	
19½	183	176	150	152	159	152	132	136	152	140	136	
21½	226	220	204	186	202	192	182	172	196	180	176	
23½	268	262	236	228	249	238	216	212	242	224	216	
25	316	302	274	272	291	278	250	240	286	264	246	
27	375	360	336	324	345	330	298	288	340	320	300	
29	430	416	390	380	400	388	356	348	400	380	352	
31	495	482	452	448	459	450	414	400	456	436	414	
33	579	554	520	504	526	514	484	464	526	504	486	
35	645	622	586	576	596	584	548	536	596	572	548	
37	729	712	662	648	672	668	626	608	668	636	614	
39	808	792	744	732	756	736	704	692	748	728	700	
42	947	918	874	868	890	878	834	808	890	856	830	
45	1085	1068	1022	1000	1035	1008	966	948	1028	992	972	
48	1241	1220	1176	1148	1181	1162	1118	1092	1180	1136	1100	
54	1577	1572	1510	1480	1520	1492	1436	1416	1508	1468	1442	
60	1964	1940	1882	1832	1884	1858	1800	1764	1886	1840	1794	
66	2380	2362	2282	2260								
72	2861	2828	2746	2708								
78	3368	3324	3236	3216								
84	3920	3882	3784	3736								
90	4499	4456	4370	4328								
96	5144	5104	4986	4936								
108	6546	6494	6360	6300								
120	8117	8038	7870	7812								

Continua.

*Nota:* Tomado de Procesos de transferencia de calor (p.730), por Robert Serth, 2007, Elsevier.

**Tabla 33: Medidas comerciales de tubos.**

Tubo DE, plg	BWG	Espesor de la pared,	DI, plg	Area de flujo por tubo, plg <sup>2</sup>	Superficie por pie lin. pies <sup>2</sup>		Peso por pie lineal, lb, de acero
					Exterior	Interior	
1	8	0.165	0.670	0.355	0.2618	0.1754	1.61
	9	0.148	0.704	0.389		0.1843	1.47
	10	0.134	0.732	0.421		0.1916	1.36
	11	0.120	0.760	<b>0.455</b>		0.1990	1.23
	12	0.109	0.782	<b>0.479</b>		0.2048	1.14
	13	0.095	0.810	0.515		0.2121	1.00
	14	0.083	0.834	0.546		0.2183	0.890
	15	0.072	0.856	0.576		0.2241	0.781
	16	0.065	0.870	0.594		0.2277	0.710
1¼	17	0.058	0.884	0.613	0.2314	0.639	
	18	0.049	0.902	0.639	0.2361	0.545	
	8	0.165	0.920	0.665	0.3271	0.2409	2.09
	9	0.148	0.954	0.714		0.2498	1.91
	10	0.134	0.982	0.757		0.2572	1.75
	11	0.120	1.01	0.800		0.2644	1.58
	12	0.109	1.03	0.836		0.2701	1.45
	13	0.095	1.06	0.884		0.2775	1.28
	14	0.083	1.08	0.923		0.2839	1.13
15	0.072	1.11	0.960	0.2896		0.991	
16	0.065	1.12	0.985	0.2932		0.900	
1½	17	0.058	1.13	1.01	0.2969	0.808	
	18	0.049	1.15	1.04	0.3015	0.688	
	8	0.165	1.17	1.075	0.3925	0.3063	2.57
	9	0.148	1.20	1.14		0.3152	2.34
	10	0.134	1.23	1.19		0.3225	2.14
	11	0.120	1.26	1.25		0.3299	1.98
	12	0.109	1.28	1.29		0.3356	1.77
	13	0.095	1.31	1.35		0.3430	1.56
	14	0.083	1.33	1.40		0.3492	<b>1.37</b>
15	0.072	1.36	1.44	0.3555		1.20	
16	0.065	1.37	1.47	0.3587		1.09	
17	17	0.058	1.38	1.50	0.3623	0.978	
	18	0.049	1.40	1.54	0.3670	0.831	

*Nota:* Tomado de Procesos de transferencia de calor (p.718), por Robert Serth, 2007, Elsevier.

**Tabla 34:** Conductividad térmica de materiales para tubos

Material	$k$ (Btu/h · ft · °F)	Material	$k$ (Btu/h · ft · °F)
Carbon steel	24–30	Inconel 800	6.7–8
304 Stainless steel	8.6–12	Inconel 825	7.2
309 Stainless steel	29	Hastelloy B	6.1–9
310 Stainless steel	7.3–11	Hastelloy C	5.9–10
316 and 317 Stainless steel	7.7–12	Alloy 904L	7.5–9
321 and 347 Stainless steel	8–12	Alloy 28	6.5–9
25Cr–12Ni Steel	6.5–10	Cr–Mo Alloy XM–27	11.3
22Cr–5Ni–3Mo Steel	9.5	Alloy 20CB	7.6
3.5Ni Steel	23.5	Copper	225
Carbon–0.5Mo Steel	25	90–10 Cu–Ni	30
1.0 & 1.25Cr–0.5Mo Steel	21.5	70–30 Cu–Ni	18
2.25Cr–1.0Mo Steel	21	Admiralty brass	64–75
5Cr–0.5Mo Steel	16.9–19	Naval brass	71–74
12Cr & 13Cr Steel	15.3	Muntz metal (60Cu–40Zn)	71
15Cr Steel	14.4	Aluminum bronze	71
17Cr Steel	13	Al–Ni Bronze	72
Nickel alloy 200	38.5	Aluminum alloy 3003	102–106
Nickel alloy 400	12.6–15	Aluminum alloy 6061	96–102
Inconel 600	9	Titanium	11.5–12.7
Inconel 625	7.5–9	Zirconium	12

*Nota:* Tomado de Procesos de transferencia de calor (p.696), por Robert Serth, 2007, Elsevier.

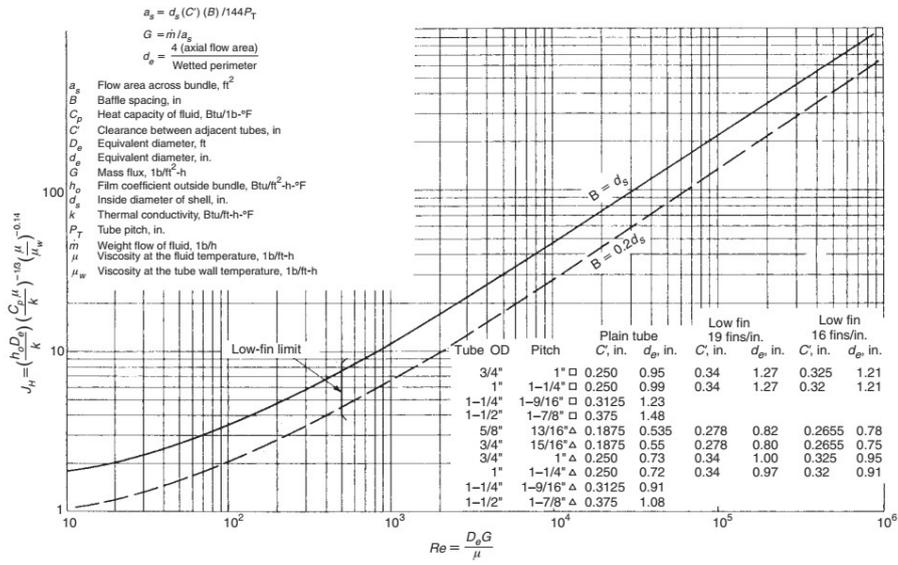
**Tabla 35** Conductividad térmica de fluidos

Liquid	$T$ (°F)	$k$ (Btu/h · ft · °F)	Liquid	$T$ (°F)	$k$ (Btu/h · ft · °F)
Oils	86	0.079	Sulfuric acid 90%	86	0.21
Oils, castor	68	0.104	Sulfuric acid 60%	86	0.25
	212	0.100	Sulfuric acid 30%	86	0.30
Oils, Olive	68	0.097	Sulfur dioxide	5	0.128
	212	0.095		86	0.111
Paraldehyde	86	0.084	Toluene	86	0.086
	212	0.078		167	0.084
Pentane ( <i>n</i> -)	86	0.078	$\beta$ -Trichloroethane	122	0.077
	167	0.074	Trichloroethylene	122	0.080
Perchloroethylene	122	0.092	Turpentine	59	0.074
Petroleum ether	86	0.075	Vaseline	59	0.106
	167	0.073	Water	32	0.343
Propyl alcohol ( <i>n</i> -)	86	0.099		100	0.363
	167	0.095		200	0.393
Propyl alcohol (iso-)	86	0.091		300	0.395
	140	0.090		420	0.376
Sodium	212	49		620	0.275
	410	46	Xylene (ortho-)	68	0.090
Sodium chloride			Xylene (meta-)	68	0.090
brine 25.0%	86	0.33			
12.5%	86	0.34			

*Source:* Ref. I111.

*Nota:* Tomado de Procesos de transferencia de calor (p.691), por Robert Serth, 2007, Elsevier.

Tabla 36 Paso entre tubos



Nota: Tomado de Procesos de transferencia de calor (p.110), por Robert Serth, 2007, Elsevier

## 16 Bibliografía

Afshin, G. J., & Cengel, Y. A. (2004). *Transferencia de calor* (Cuarta ed.). Editorial Mc Graw Hill.

AMANCO. (12 de Diciembre de 2021). *Tubo sistemas y accesorios de PPR*. Obtenido de <http://www.amanco.com.ar/>

Askeland, D. R. (2012). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. Editorial Cengage.

Asociación de fabricantes Españoles de lanas minerales. (10 de Mayo de 2019). *Guía del aislamiento térmico en la industria y herramientas de cálculo*. Obtenido de <https://afelma.org/informes-y-publicaciones/>

Asociación técnica Española de climatización. (2012). *Guía técnica de instalaciones por agua*. Madrid: Publicaciones ATECYR.

Barreras, C. (2018). *Intercambiadores de calor*. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza.

Carrier. (1980). *Manual de aire acondicionado*. México: Editorial Marcombo.

Certificados energeticos. (15 de Marzo de 2020). *Aislamiento para el cálculo del espesor óptimo de aislamiento*. Obtenido de <https://www.certificadosenergeticos.com/aislam-calculo-espesor-minimo-aislamiento-termico#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20AISLAM%3F,para%20la%20aplicaci%C3%B3n%20del%20RITE>.

Cueto, J. M. (2012). *Manual de soldadura TIG*. Ceyesa.

Daikin. (15 de Marzo de 2022). Obtenido de Daikin soluciones: [https://www.daikin.eu/en\\_us/customers/software-downloads/daikin-psychometrics-diagram-viewer.html](https://www.daikin.eu/en_us/customers/software-downloads/daikin-psychometrics-diagram-viewer.html)

EDESA. (24 de Abril de 2022). *Cuadro tarifario*. Obtenido de <https://www.edesa.com.ar/cuadro-tarifario/#!/cuadro-tarifario>

Elliot. (5 de Marzo de 2022). *Como expandir tubos soldados*. Obtenido de [https://www.elliott-tool.com/es\\_AR/tubos-de-expansion-mecanica-con-soldaduras-de-sello-o-resistencia/](https://www.elliott-tool.com/es_AR/tubos-de-expansion-mecanica-con-soldaduras-de-sello-o-resistencia/)

- Frimont. (15 de Febrero de 2022). *Frimont sistemas frigoríficos*. Obtenido de [www.frimont.com](http://www.frimont.com)
- Gea, M., Sanchez, B., & Placco, C. (2004). Estudio y comparacion de distintos tipos de intercambiadores para enfriamiento evaporativo. *ASADES*.
- Gelson Luz. (24 de Abril de 2022). *ASTM A105 Propiedades*. Obtenido de <https://www.materiales.gelsonluz.com/2020/09/astm-a105-propiedades-mecanicas.html>
- Hernandez, I. (2019). Metodología para diseño de intercambiadores de tubo y coraza. *Scielo*.
- IDAE. (2012). *Guía técnica de instalaciones de climatización por agua*.
- Instituto nacional de tecnología agropecuaria. (12 de Enero de 2022). *Estación meteorológica automática Bodegas Etchart*. Obtenido de [https://anterior.inta.gob.ar/prorenea/ema\\_etchart/Clima.htm](https://anterior.inta.gob.ar/prorenea/ema_etchart/Clima.htm)
- Instituto para la diversificación y el ahorro de la energía. (15 de Enero de 2021). *Reglamento de instalaciones térmicas en edificios*. Obtenido de <https://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/reglamento-de-instalaciones-termicas-de-los-edificios>
- IPS. (24 de Enero de 2010). *Dossier técnico IPS fusión*. Obtenido de <https://ips-arg.com/wp-content/uploads/2017/09/Manual-T%C3%A9cnico-FUSION.pdf>
- Levenspiel, O. (2018). *Flujo de fluidos e intercambio de calor*. Reverté.
- Manual de intercambiadores. (25 de Abril de 2022). *Archivo digital de docencia e investigación*. Obtenido de <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/23425/MdM%20EG-E02AB.pdf?sequence=13&isAllowed=y>
- Marín, J. M., & Guillén, S. (2013). *Diseño y calculo de intercambiadores de calor monofásicos*. Madrid España: Paraninfo.
- Martinez, D. F. (2017). *Diseño de software para intercambiadores de calor de coraza*.
- Met Man. (2014). *Manual de instalación uso y mantenimiento de enfriadores evaporativos*.

- Metalurgica Manlleuence. (12 de Abril de 2006). *Manual de enfriadores evaporativos*.  
Obtenido de [http://www.solinderg.com/MetMann/Manual\\_AD-55-70.pdf](http://www.solinderg.com/MetMann/Manual_AD-55-70.pdf)
- Morandi, J. L. (2014). *CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO DE LOS VALLES CALCHAQUIES*. INTA.
- Nemapa SA. (23 de Abril de 2010). *Kipdf*. Obtenido de Expandidores de tubos para intercambiadores: [https://kipdf.com/expandidores-de-tubos-para-intercambiadores-de-calor\\_5ac9ad5c1723dd5c04ccada6.html](https://kipdf.com/expandidores-de-tubos-para-intercambiadores-de-calor_5ac9ad5c1723dd5c04ccada6.html)
- Pita, E. (1991). *Principios de sistemas de refrigeración*. Limusa.
- Placco, C. (2008). Estudio de sistemas de enfriamiento evaporativo directo e indirecto. *ASADES*.
- Quadri, N. (1987). *Manual de cálculo de aire acondicionado y calefacción*. Buenos Aires: Editorial Alsina.
- Rejo, E. G. (2008). *Diseño del sistema de refrigeración de una bodega de vinificación en tinto*. Universidad de Cadíz.
- Serth, R. W. (2007). *Process Heat Transfer*. Editorial Elsevier.
- Smith, W. (1998). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales*. Editorial McGraw Hil.
- Taylor, S. T. (2017). *Fundamentos de diseño y construcción de plantas centrales de agua fría*. Publicaciones ASHARE.
- TEMA. (2007). *Standards of the tubular exchanger manufactures association*. New York.
- Terán, G., Tovar, C., & Portocarrero, J. (2004). Estudio de la corrosión producida en aceros inoxidables 304 en procesos de soldadura. *Dyna*, 12.