



APLICACIÓN INDUSTRIAL DE BOMBA DE CALOR

SIGULIN, Rodrigo

Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Escuela de Ingeniería Mecánica
Rosario, Argentina
04 de septiembre de 2023

APLICACIÓN INDUSTRIAL DE BOMBA DE CALOR

SIGULIN, Rodrigo

Proyecto Final de Ingeniería Mecánica presentado como requisito parcial para optar al
título de:

Ingeniero/a Mecánico/a

Directores:

Ing. Ricardo Pendin

Ing. Guillermo Rodríguez

Universidad Nacional de Rosario

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura

Escuela de Ingeniería Mecánica

Rosario, Argentina

04 de Septiembre de 2023

Cumple sus sueños quien resiste

Agradecimientos

Quiero agradecer principalmente a la educación pública en la República Argentina por permitirme formarme como Ingeniero Mecánico en la Universidad Nacional de Rosario, la cual además de brindarme conocimientos teóricos, me obsequio excelentes colegas de estudio y la inspiración de profesores apasionados en su vocación de enseñanza. En especial, quiero agradecerle a Ricardo Pendin por permitirme ser parte de la adscripción en mecánica de los fluidos y haberme dado el punta pie para realizar este proyecto, ofreciéndome sus conocimientos de forma desinteresada.

Por supuesto, todo esto hubiera sido imposible sin la ayuda y el apoyo de mis padres y mi hermana, quienes me dieron un techo y las herramientas para finalizar mis estudios. Gracias Totales.

Resumen

El presente proyecto consiste en la investigación y el análisis de la implementación industrial de una bomba de calor en Argentina, analizando y comparando la misma equipos existentes en la industria con el fin de evaluar la viabilidad productiva y económica del mismo.

Debido a los paradigmas que se plantean en la actualidad respecto al cuidado del medioambiente, se seleccionó este tipo de maquina termodinámica ya que disminuye el consumo de combustibles fósiles y la generación de gases de efecto invernadero, aprovecha focos de rechazos que se generan en la industria y cumple con mayores exigencias medioambientales.

Palabras clave: Termodinámica, Medioambiente, Sustentabilidad, Eficiencia, Descarbonización, Bomba, Calor.

Abstract

The present project consists of the research and analysis of the industrial implementation of a heat pump in Argentina, comparing it with other existing equipment in the industry in order to evaluate its productive and economic viability.

Due to the current paradigms regarding environmental care, this type of thermodynamic machine was selected as it reduces the consumption of fossil fuels and greenhouse gases, utilizes waste heat sources generated in the industry, and complies with higher environmental requirements.

Keywords: Thermodynamics, Environment, Sustainability, Efficiency, Decarbonization, Heat Pump.

Contenido

Agradecimientos	4
Resumen	5
Abstract	6
Contenido	7
Introducción	9
1. Ingeniería Conceptual	12
1.1 ¿Qué es una bomba de calor?	12
1.2 Componentes de una bomba de calor	13
Compresor	15
▪ Compresor de pistón	17
▪ Compresor de tornillo	18
▪ Compresor de paletas	20
▪ Compresor de espiral	21
Válvula de expansión	22
Evaporador y Condensador	23
1.3 Ciclo de funcionamiento fluido refrigerante	26
1.4 Focos de calor	27
1.5 Tipos de bombas de calor	28
Bombas de calor por compresión - Ciclo cerrado	28
Bomba de calor por absorción - Ciclo cerrado	29
Características de las mezclas de agua y amoníaco.	31
1.6 Conceptos Termodinámicos	32
Primera Ley de la Termodinámica	32
Segunda Ley de la Termodinámica.	32
▪ La segunda ley de la termodinámica enunciado de Kelvin-Planck	32
▪ La segunda ley de la termodinámica enunciado de Clasius	33
Ciclo de Carnot	34
Ciclo de Carnot inverso	36
1.7 Aplicaciones industriales	38
2. Aplicación Industrial	40
2.1 Aprovechamiento calor residual compresores	40
2.2 Diseño alternativo de intercambiador de calor	44
Diseño Intercambiador 01	47
Diseño Intercambiador 02	49
Diseño Intercambiador 03	51
Diseño Intercambiador 04	53
Conclusiones Intercambiadores	55
2.2 Estado del arte de las Bombas de Calor Industriales	57
Kwikpump (KWIKOT) – Agua hasta 60°C	57
▪ HP-007 (7,0 kW)	57
▪ HP-022 (22,8 kW)	58

▪ HP-091 (91,2 kW)	59
KÖNNEN W03H SERIES – Agua hasta 80°C.....	60
SABRO HeatPAC 157 HR – Agua hasta 85°C.....	64
Mayekawa Eco Cute Unimo – Agua hasta 90°C.....	65
Mitsubishi ETW-L – Agua hasta 90°C.....	67
KOBELCO SGH120 – Vapor de agua hasta 120°C	69
KOBELCO SGH165 – Vapor de agua hasta 175°C	71
3. Análisis económico.....	73
Viabilidad Económica	73
Desarrollo de fórmulas para el cálculo de costos económicos.....	73
▪ Costo operativo bomba de calor	73
▪ Costo operativo caldera.....	75
Variables de rentabilidad	76
▪ VAN	76
▪ TIR	77
▪ Periodo de recuperación de la inversión (Payback)	77
Caso 01: Suministro agua a 60°C Bomba de calor-Mitsubishi ETW-L	78
Análisis de costos	78
▪ Costo operativo Mitsubishi ETW-L.....	78
▪ Costo operativo caldera a reemplazar	79
▪ Diferencia de costos operativos.....	81
Análisis de rentabilidad	82
Análisis ambiental	84
Conclusión del caso	85
Caso 02: Bomba de calor – Intercambiador compresor	86
Análisis de costos	87
▪ Costo operativo Mayekawa Eco Cute Unimo	87
▪ Costo operativo Caldera a reemplazar	88
▪ Diferencia de costos operativos.....	90
Análisis de rentabilidad	91
Análisis ambiental	93
Conclusión del caso	94
4. Impacto Energético - Ambiental.....	95
4.1 Descarbonización	95
4.2 Eficiencia energética.....	99
4.3 Pacto Verde Europeo.....	100
4.4 Conclusión.....	103
5. Conclusiones.....	104
6. Bibliografía	106
7. ANEXO A – Planos	108

Introducción

Actualmente la humanidad depende significativamente del uso de los combustibles fósiles, carbón y gas natural, no solamente para uso industrial sino para uso hogareño, oficinas, instituciones educativas, etc.

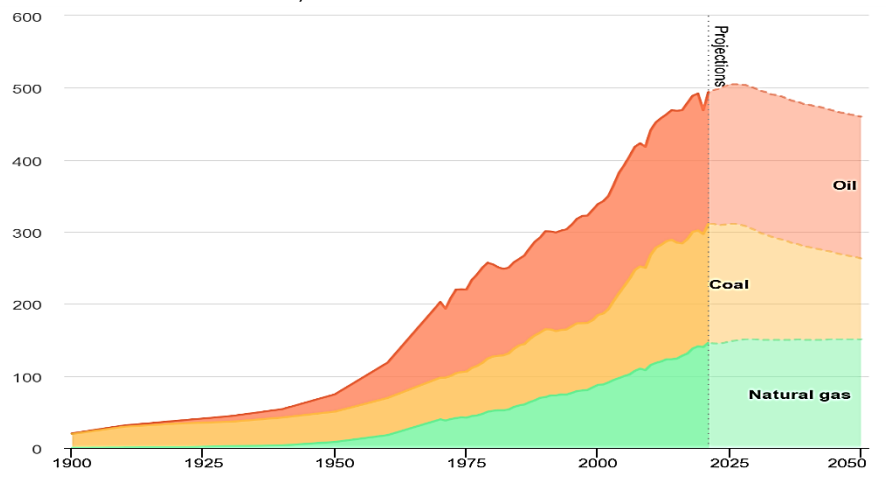


Figura 1 : Demanda de combustibles fósiles en el Escenario de Políticas Declaradas, 1900-2050 - iea.org

Lo que implica un aumento en la generación de CO₂, generando acidificación de los océanos, pérdida de biodiversidad, efectos negativos en la salud humana y cambio climático.

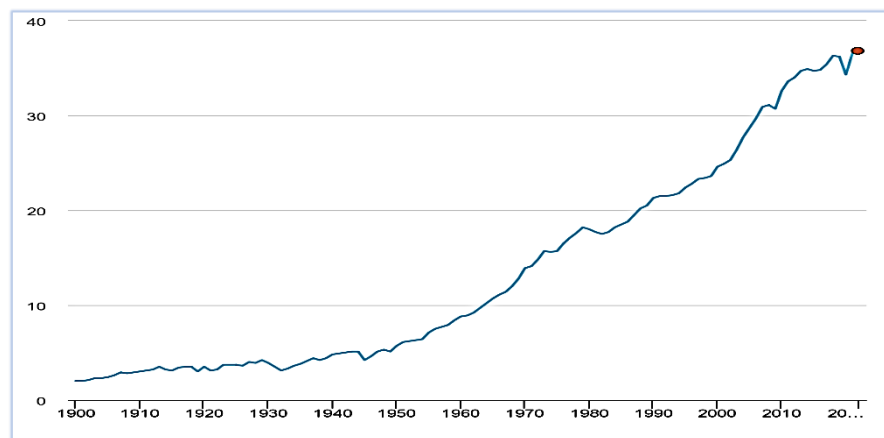


Figura 2: Emisiones globales de CO₂ procedentes de la combustión de energía y procesos industriales, 1900-2022 – iea.org

Con el fin de disminuir las emisiones de CO₂ surge la necesidad de implementar nuevas tecnologías más amigables con el medioambiente, implementándolas tanto en la industria como en los hogares. Una de estas tecnologías, es justamente la bomba de calor, la cual en la actualidad se está utilizando tanto en hogares como en la industria europea.

Además, la implementación de la bomba de calor no solo implica una disminución de CO₂ sino también un aumento en la eficiencia energética, disminución en los costos de producción y aprovechamiento de calores residuales. Por ende, no solo es una opción tentativa para disminuir el impacto ambiental, sino que además es atractiva para las finanzas de una empresa, dándole a esta beneficios económicos.



Figura 3 : El proyecto DryFiciency apuesta por la alta eficiencia energética de la industria intensiva en energía mediante la recuperación de calor residual

La finalidad de este proyecto es aplicar la bomba de calor en la industria nacional, adaptándonos a los nuevos paradigmas globales a la par de las grandes potencias industriales, dándole un valor agregado a los procesos productivos nacionales. De esta forma se podrá reemplazar equipos obsoletos o de baja eficiencia energética permitiendo de esta forma disminuir el consumo eléctrico y aumentar la eficiencia.

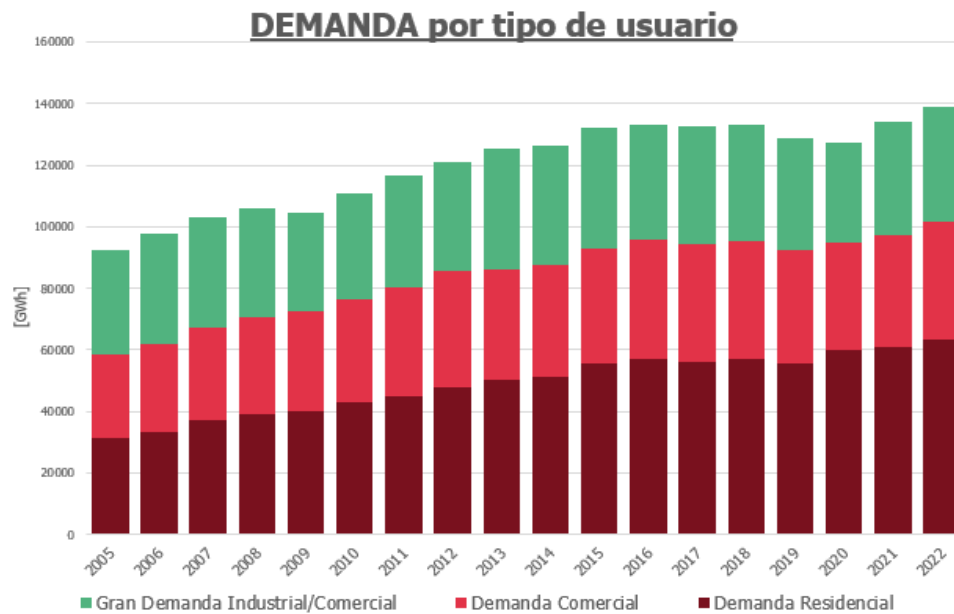


Figura 4 : Demanda energética Argentina - Fuente CAMMESA

1. Ingeniería Conceptual

1.1 ¿Qué es una bomba de calor?

Es una máquina térmica que, mediante el aporte de trabajo externo, permite la interacción térmica entre dos medios, uno de baja temperatura con otro de alta temperatura, de tal forma que obtiene calor del medio de baja temperatura para transferírselo al medio de alta temperatura. Esta transferencia es posible mediante una sustancia de trabajo que efectúa un proceso cíclico, una sucesión de procesos que al final deja la sustancia en el estado que inicio.

El principio de funcionamiento de la bomba de calor se basa en la segunda ley de la termodinámica, formulada por Sadi Carnot, lo cual establece que el calor fluye **naturalmente** desde un foco con una temperatura más alta hacia un foco una temperatura más baja y no al revés.



Figura 1. 1 Bomba de Calor Industrial

1.2 Componentes de una bomba de calor

Los principales componentes de una bomba de calor industrial son el motor, compresor, condensador, válvula de expansión y el evaporador.

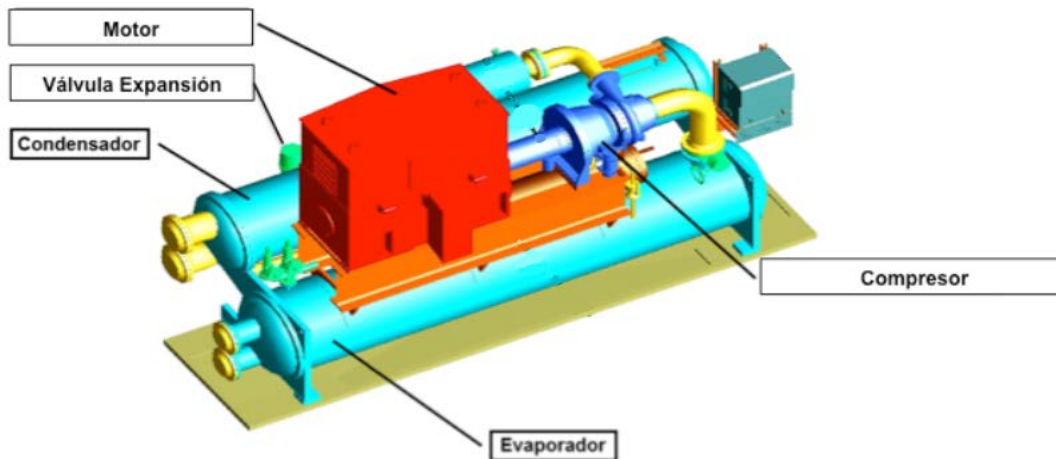


Figura 1. 2 : Principales componentes de una bomba de calor industrial

Para el correcto funcionamiento de la maquina térmica, existe una interacción entre sus componentes principales mediante un fluido (refrigerante), que se da de la siguiente manera:

El refrigerante **frio en estado líquido/gaseoso** ingresa en el evaporador donde se produce un intercambio de calor, del “**foco A**” de calor externo a la maquina hacia el evaporador donde se encuentra el refrigerante (recordemos la segunda ley de la termodinámica, el calor naturalmente se transfiere del foco caliente al foco frio). De esta forma el refrigerante pasa a estar **ligeramente cálido en estado gaseoso**, este intercambio se realiza a baja presión.

Luego mediante el uso de un compresor, accionado por un motor eléctrico, se eleva la presión del fluido refrigerante, de esta forma, por las propiedades físicas del fluido este se encontrará **muy caliente y en estado gaseoso**, para luego ingresar en el condensador para interactuar con un “**foco B**” a menor temperatura que el líquido

refrigerante donde se produce el intercambio de calor, del líquido refrigerante hacia el foco de menor temperatura, este intercambio se realiza al alta presión.

A la salida del condensador el fluido esta **ligeramente caliente en estado líquido**, donde finalmente pasa por una válvula de expansión la cual permite que el fluido refrigerante se encuentre **frio y en una mezcla bifásica liquido/gaseosa**, volviendo al inicio del ciclo para reanudarlo nuevamente.

Por la segunda ley de la termodinámica, se dan dos importante intercambio de calor en la bomba de calor, uno en el evaporador (del foco externo a mayor temperatura hacia el líquido refrigerante de menor temperatura) y otro en el condensador (del líquido refrigerante de mayor temperatura hacia el foco externo de menor temperatura). Naturalmente el calor se transfiere de una foco de mayor temperatura a un foco de menor temperatura.

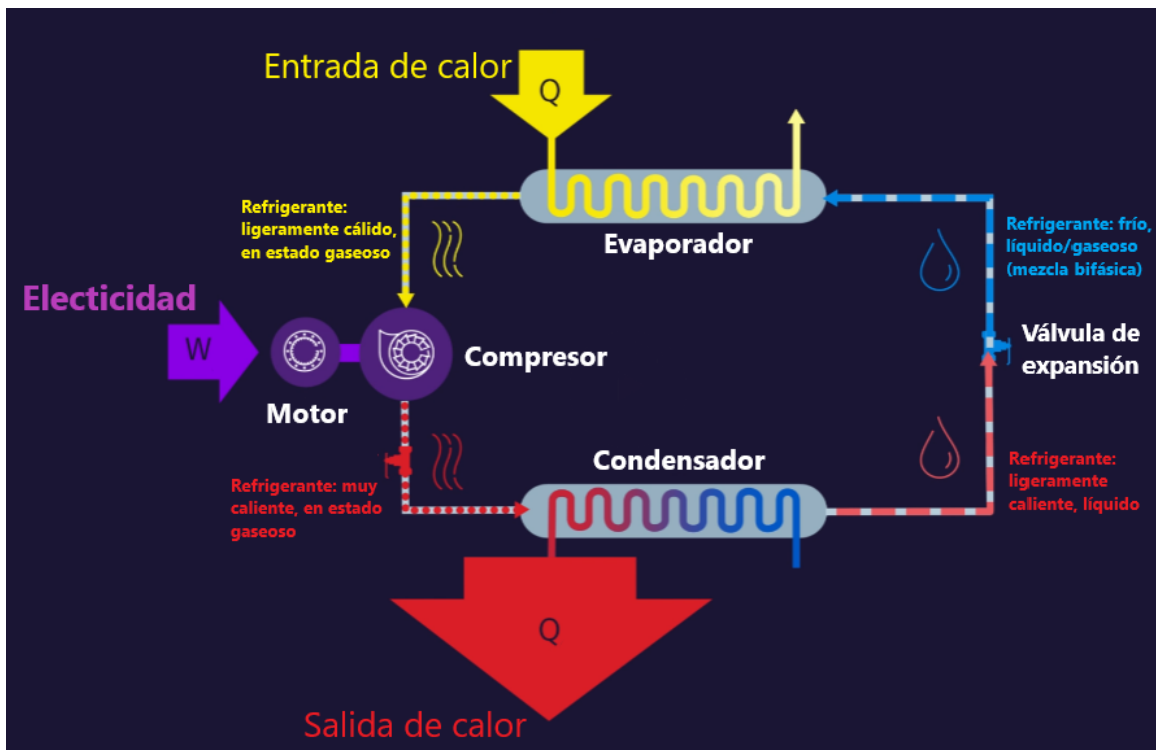


Figura 1. 3 Interacción entre los componentes de la bomba de calor

Compresor

El compresor (volumétrico) en el conjunto de la bomba de calor actúa como la “bomba”, succiona refrigerante, haciéndolo pasar por un espacio cerrado que se va achicando cada vez más, logrando un aumento de la presión en este, es importante que el refrigerante este en estado gaseoso. Por este motivo es importante garantizar que el líquido refrigerante llegue en estado gaseoso al compresor, ya que si este aspirara gotas de líquido del refrigerante se dañaría, por lo cual está diseñado para trabajar con refrigerantes en estado gaseoso, por ende, el refrigerante llega a este sobrecalentado para garantizar su vida útil y eficiencia requerida.

Este mantiene la caída de presión adecuada entre el evaporador y el condensador para mantener las temperaturas de cambio de fase adecuadas para interactuar con los focos externos.

Clasificación de compresores según disposición del motor de accionamiento:

- Compresor abierto: el motor de accionamiento está separado del compresor, refrigerado por aire de forma independiente y conectado mediante un acoplamiento mecánico.



Figura 1. 4 Compresor Abierto

- Compresor hermético: el motor y el compresor están dentro de la misma carcasa y el motor se enfría con el mismo fluido que circula en el compresor.

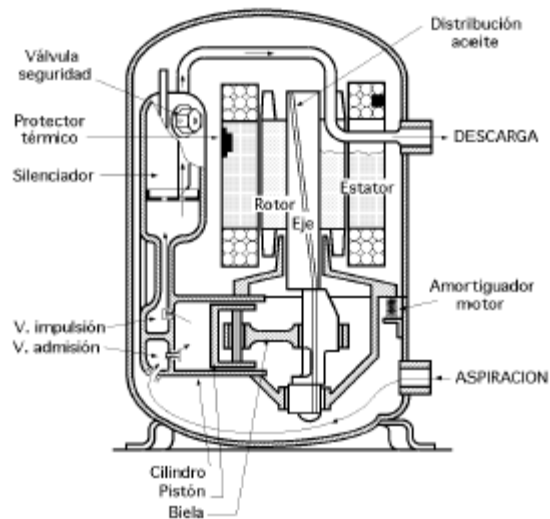


Figura 1. 5 Compresor Hermético

- Compresor semihermético: un compresor acoplado directamente al motor de accionamiento, en la misma carcasa, pero con un acceso directo separado por el motor.



Figura 1. 6 Compresor semihermético

En la Industria encontramos los siguientes tipos de compresores:

- **Compresor de pistón**

Su lógica de funcionamiento es similar a la de un motor a combustión, nada más que en este caso el pistón es accionado por un motor eléctrico, y de esta forma el pistón se encarga de succionar el gas que sale del evaporador, para luego comprimirlo y enviarlo al condensador.

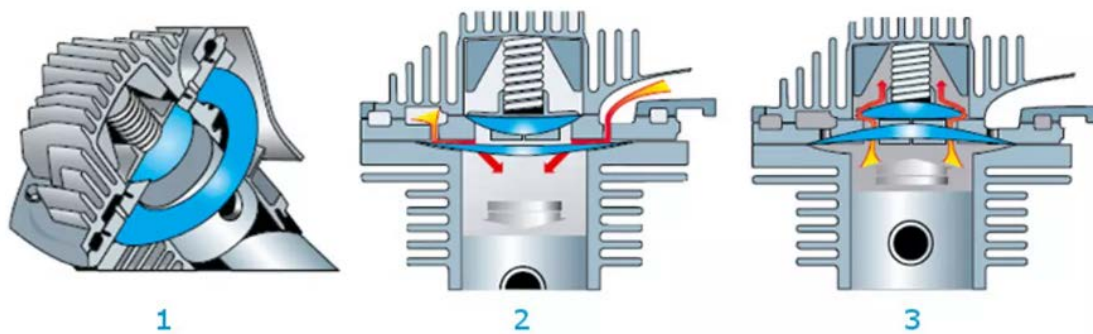


Figura 1. 7 Compresor de Pistón

1. En su parte superior están constituidos por dos discos uno grande y otro pequeño de acero inoxidable flexibles, que cumplen la función de válvulas de admisión y escape.
2. Cuando el pistón se desplaza hacia abajo, el disco más grande se dobla y permite el paso de aire al interior del cilindro (SUCCION)
3. Cuando el pistón asciende, el disco grande se dobla hacia arriba impidiendo la entrada de más aire y el disco pequeño, permite pasar el aire ya comprimido a través del orificio de la válvula. (COMPRESION)

Característica:

- Ruidoso y pesado
- Flujo intermitente
- Necesita mantenimiento periódico
- Alta presión con moderado volumen
- El uso de aceites de baja calidad en los cilindros causa depósitos de barniz y carbonilla en las válvulas y ranuras de pistones, aumentando el mantenimiento.

- **Compresor de tornillo**

Constituido por dos tornillos helicoidales que se engranan y a lo largo de su longitud tienen diferentes diámetros, lo que permite la compresión del gas. Este entra en el lado de la succión y se mueve a través de las cavidades generadas por los tornillos a medida que estos giran, forzando al gas a salir por la descarga final de estos, reduciendo su volumen progresivamente.

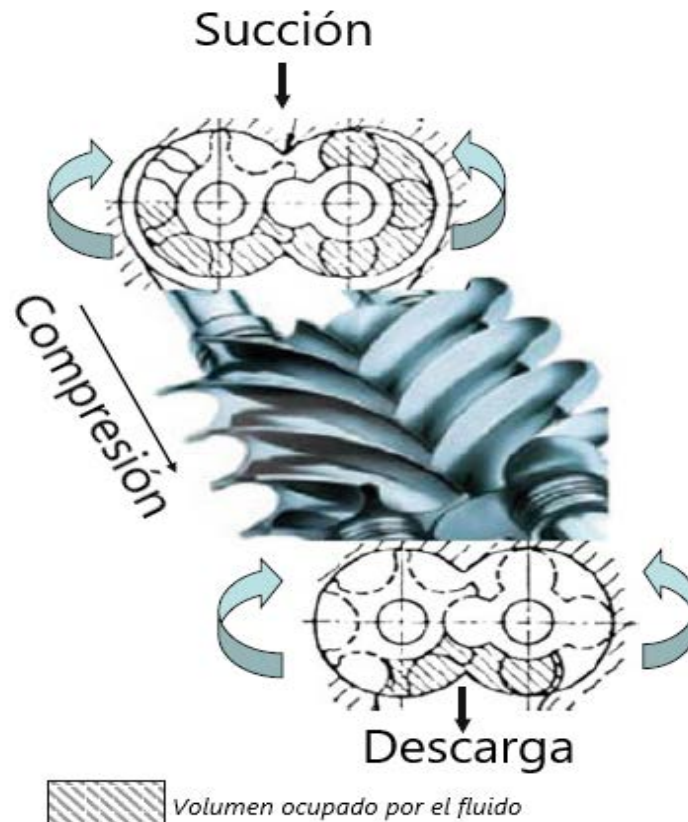


Figura 1. 8 Compresor de Tornillos

La fase de succión comienza cuando los dos rotores en movimiento dejan el puerto de succión abierto. El fluido entra en la región de compresión y se mueve a lo largo de los ejes de los tornillos comprimiéndose. El puerto de succión se cierra cuando los rotores se engranan y comienza la compresión, con el puerto de descarga cerrado. Cabe aclarar que a los rotores se los lubrica con aceite, el cual evita la fricción y funciona como una película que retiene el aire comprimido. Este tipo de compresor genera menor ruido que los de pistón, funcionamiento suave, baja vibración, mejor capacidad de control y modulación.

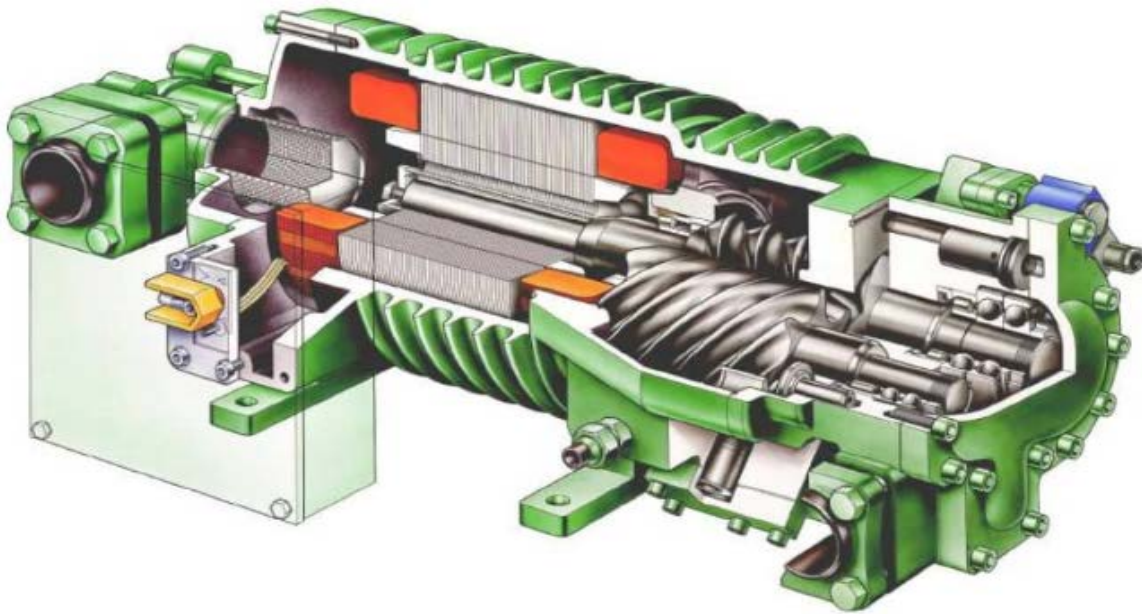


Figura 1. 9 Esquema compresor de tornillo

Característica:

- Silencioso, pequeño, bajo costo
- Flujo continuo de aire
- Fácil mantenimiento
- Presiones y volúmenes moderados
- En los compresores a tornillo húmedos los engranajes y tornillos son lubricados por el aceite que actúa también como sello. Típicamente tienen filtros coalescentes para eliminar el aceite del aire o gas comprimido.
- El aceite tiene que tener una buena capacidad antiespumante y buenas características de enfriamiento por la alta velocidad y temperatura de operación.

▪ **Compresor de paletas**

Está compuesto por un rotor excéntrico el cual tiene una ranura donde se colocan unas paletas móviles, este conjunto rota sobre un cilindro estator. A medida que el conjunto móvil rota (rotor y paletas) succionan el fluido y lo comprimen al ir reduciendo la sección, debido a que el rotor y el cilindro estator son excéntricos, y la paletas al ser móviles van copiando el recorrido del estator fijo, guiando y comprimiendo el fluido en la rotación.

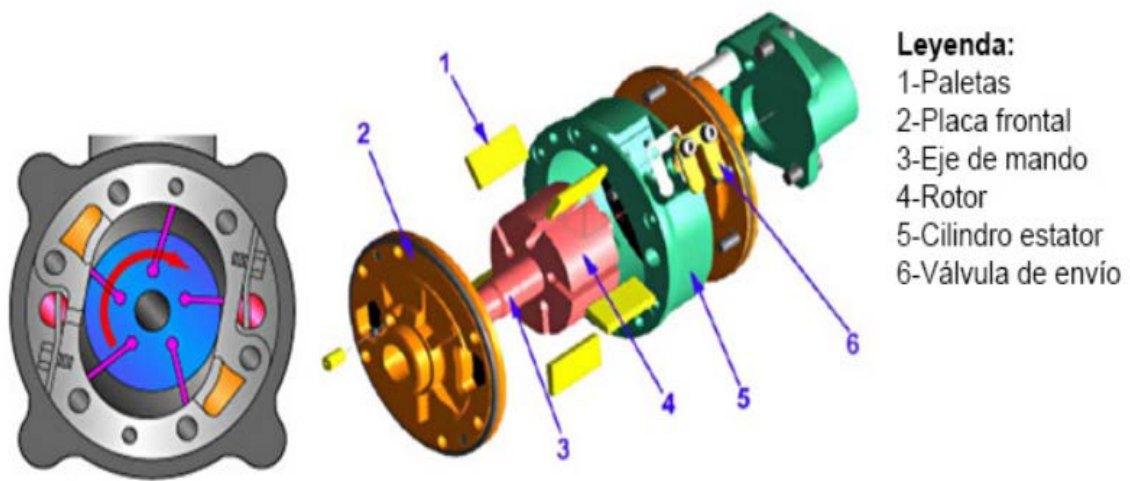


Figura 1. 10 Esquema compresor de paletas

Característica:

- Silencioso y pequeño
- Flujo continuo
- Sensibles a partículas y tierra
- Fácil mantenimiento
- Presiones y volúmenes moderados

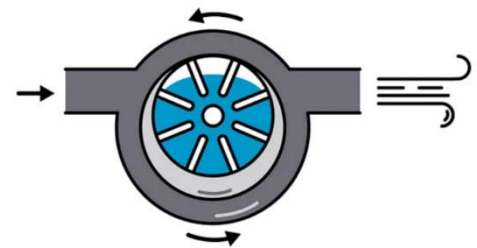


Figura 1. 11 Compresor de paletas

▪ **Compresor de espiral**

Está constituido por dos espirales, una fija y otra móvil, estas están desfasadas 180° una de otra, por lo tanto, al rotar la móvil esta nunca toca a la fija, pero si se aproximan demasiado una con otra para permitir la succión y compresión del fluido.

La aspiración comienza cuando la espiral móvil da su primer vuelta y el fluido entra en el equipo, luego la compresión se da cuando la espiral móvil va dando vueltas y el fluido avanza quedando atrapado entre las dos espirales, mientras más avanza más se comprime, ya que por la forma de las espirales va disminuyendo el volumen. Por último, descarga el fluido al llegar a la última parte del recorrido de las espirales donde allí se encuentra el sistema de escape.

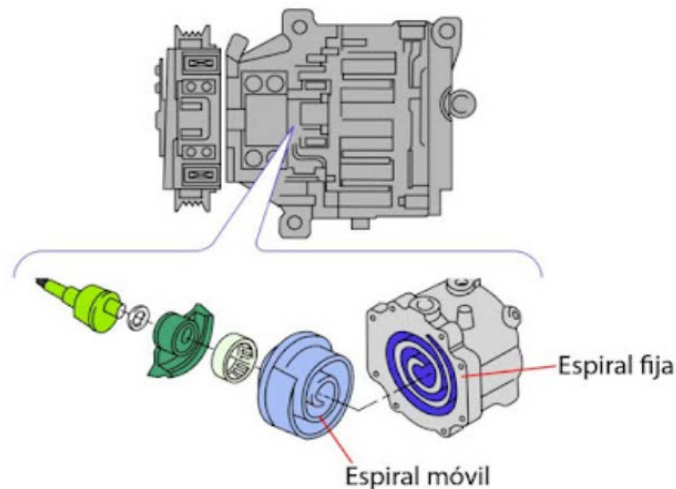


Figura 1. 12 Esquema compresor de espiral

Característica:

- Ausencia de válvulas
- Flujo continuo
- Pocas partes móviles
- Tamaño y peso pequeño
- Bajas vibraciones
- Silenciosa



Figura 1. 13 Secuencia funcionamiento compresor de espiral

Válvula de expansión

Cumple la función de permitir al fluido obtener las condiciones adecuadas para ingresar al evaporador para ser sobrecalentado para luego ingresar al compresor sin ninguna partícula en estado líquido, la cual daña a este último, permitiendo la expansión del fluido disminuyendo su presión. Esta válvula regula la cantidad de refrigerante (caudal de masa) de modo que solo entre en el evaporador la cantidad necesaria que solo pueda evaporarse y sobrecalentarse allí. Por lo cual este dispositivo debe funcionar correctamente para salvaguardar el circuito, es vital para la eficiencia general de la bomba de calor.

Las fluctuaciones en la temperatura de entrada y salida de calor (focos de calor) requieren el uso de una válvula de expansión regulada, ya que la presión dentro del circuito de refrigerante y, en consecuencia, la temperatura requerida cambia aguas arriba del compresor.

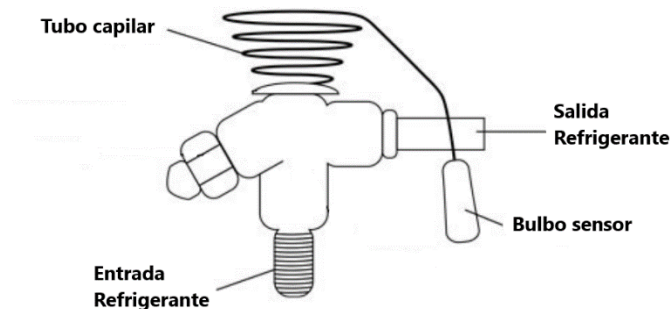


Figura 1. 14 Válvula de expansión

Las válvulas de expansión generalmente se clasifican en:

- Válvula de expansión de presión constante, mantiene la presión dentro del evaporador constante, sin importar cuál sea la carga dentro del evaporador. No permite el control del flujo de refrigerante y, por lo tanto, este tipo de válvula no se utiliza cuando se necesita ese control. Se utilizan cuando los focos de calor se garantizan constantes en el tiempo.
- Válvula de expansión térmica (termostática), controla la cantidad de flujo de refrigerante y, por lo tanto, el sobrecalentamiento en la salida del evaporador. Las válvulas de expansión térmica a menudo se denominan genéricamente "dispositivos de medición". Se utilizan con cargas térmicas variables, es decir, focos de calor variables.

Evaporador y Condensador

Son los dispositivos encargados de interactuar con los focos de calor, donde entra (evaporador) o sale (condensador) calor del circuito de la bomba de calor. Por lo tanto, ambos dispositivos **son intercambiadores de calor**, los cuales facilitan el intercambio entre el fluido refrigerante de la bomba de calor con los focos de calor externos al circuito.

Las bombas de calor se clasifican según las características de los focos de calor con los que interactúan:

- Bombas de calor aire-aire, si ambas focos son aire.
- Bombas de calor aire-agua, si un foco es aire y el otro agua.
- Bombas de calor agua-agua, si ambos focos son el agua.

Cuando el foco de calor es aire, el intercambiador de calor está constituido por un conjunto de tubos alerados con cabezales rectangulares en ambos extremos de los tubos por donde circula el refrigerante, el aire es forzado a intercambiar calor a través de ventiladores que lo dirigen a interactuar con los tubos mencionados.

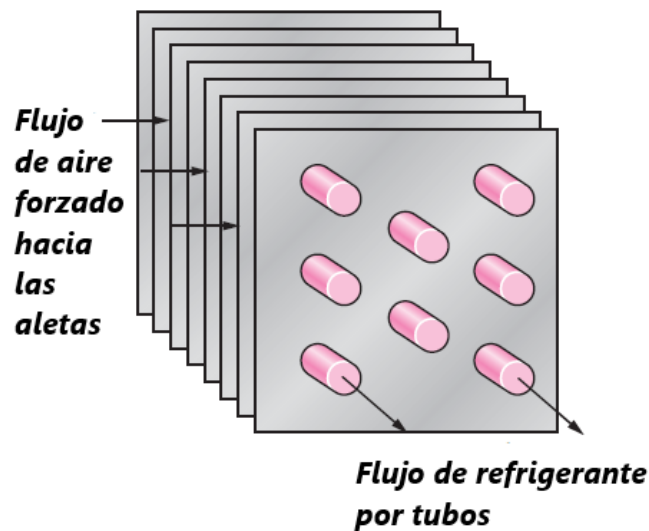


Figura 1. 15 Intercambio de calor refrigerante-aire

En cambio, si el refrigerante intercambia calor con agua, se utilizan intercambiadores de calor de placas y marcos. Las placas se juntan unas con otras dentro de un marco rígido y forman un conjunto de canales paralelos con fluidos calientes y fríos intercalados.

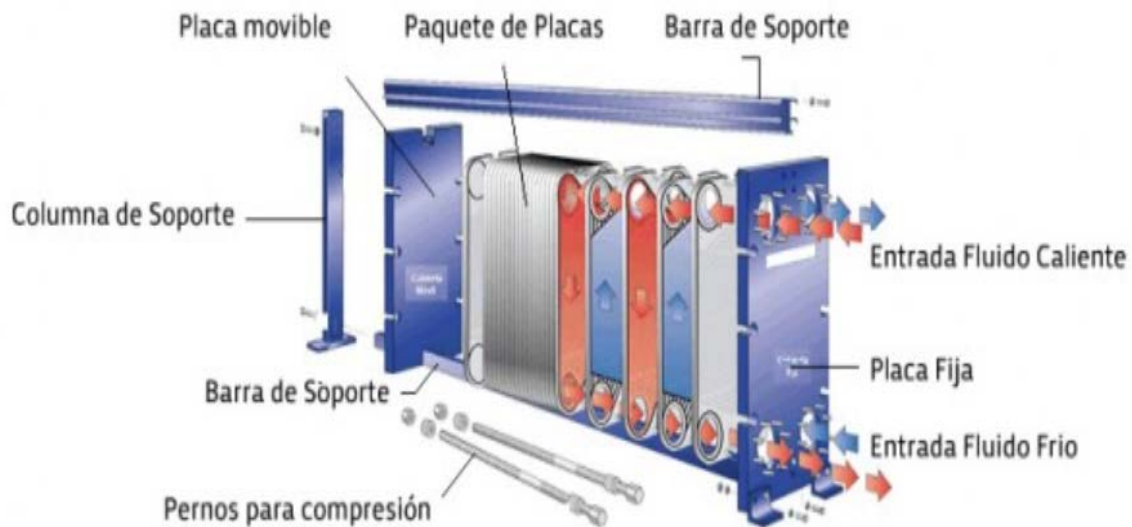


Figura 1. 16 Intercambiador refrigerante-agua

Dependiendo las condiciones de trabajo de cada uno de los intercambiadores de calor pueden actuar como condensador o evaporador, esto se da según las condiciones de como entra y sale el refrigerante, el aire o el agua. En la siguiente imagen se ilustra detalladamente como diferenciar si el intercambiador de calor cumple la función de evaporador o condensador, en este caso se analiza un intercambiador refrigerante-agua.

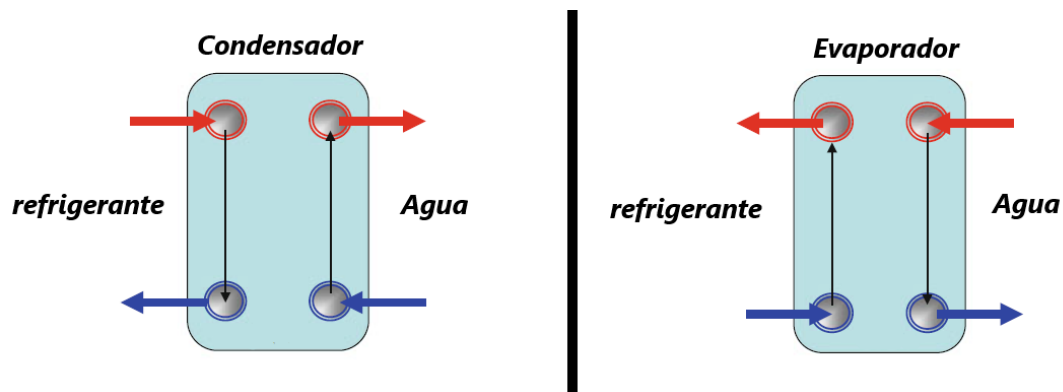


Figura 1. 17 Diferencia entre condensador y evaporador

Dentro de las aplicaciones industriales el intercambiador de calor que más nos encontraremos es el de tubos y coraza, el cual está constituido por una gran cantidad de tubos agrupados y recubiertos en una carcasa, paralelos al eje de la carcasa. El intercambio se da cuando uno de los fluidos circula por los tubos y el otro por dentro de la carcasa, generando el intercambio de calor entre estos.

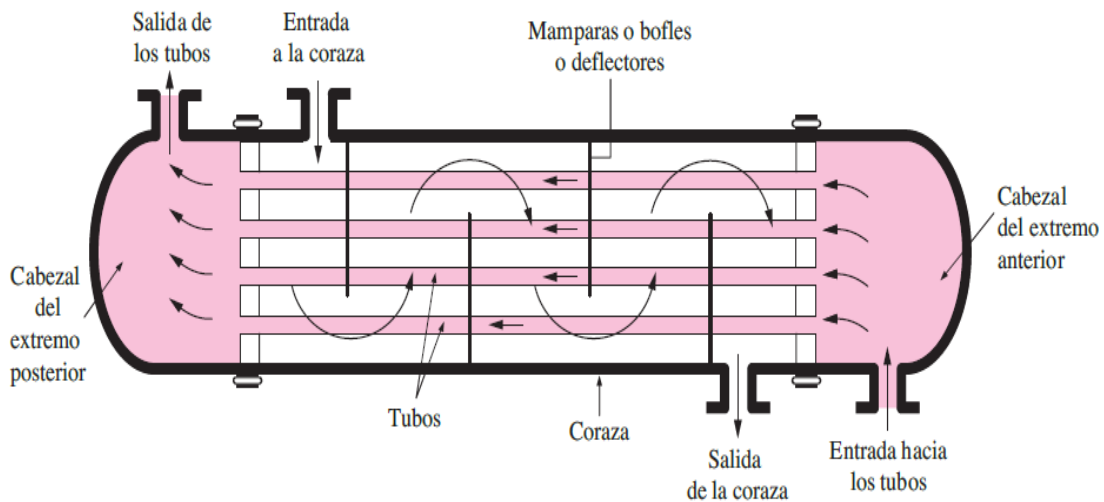


Figura 1. 18 Intercambiador de coraza y tubos

Otro aspecto fundamental de los intercambiadores de flujo radica en la dirección de los fluidos en interacción.

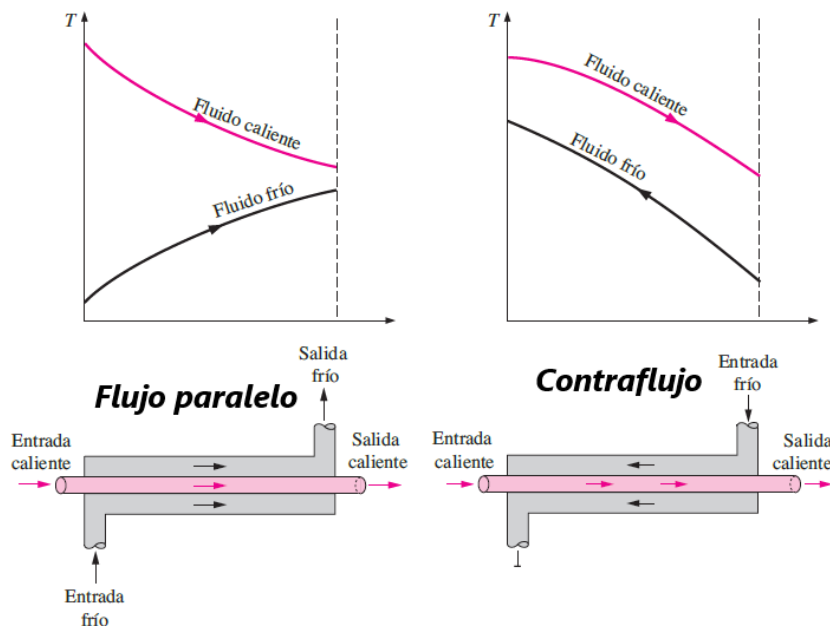


Figura 1. 19 Intercambiadores de calor según dirección de flujo

1.3 Ciclo de funcionamiento fluido refrigerante

Para comprender las bases del funcionamiento de la bomba de calor, debemos analizar el comportamiento del refrigerante, que es el alma de la máquina termodinámica, sin él no sería posible el intercambio de calor.

Evaporación 1-2: el refrigerante se evapora. La energía requerida para esto (entalpía de evaporación) se extrae del entorno “**foco A**”. Por ejemplo, aire exterior.

Compresión 2-3: con ayuda de la energía motriz del compresor, se aumenta la presión y por lo tanto la temperatura del vapor del refrigerante. La entalpía (el contenido de energía) aumenta.

Condensación 3-4: el vapor del refrigerante se condensa. Durante este cambio, la energía del refrigerante ha sido absorbida por el “**foco B**”.

Expansión 4-1: el refrigerante se expande mediante una válvula de expansión, la temperatura y la presión del refrigerante vuelven a su estado original.

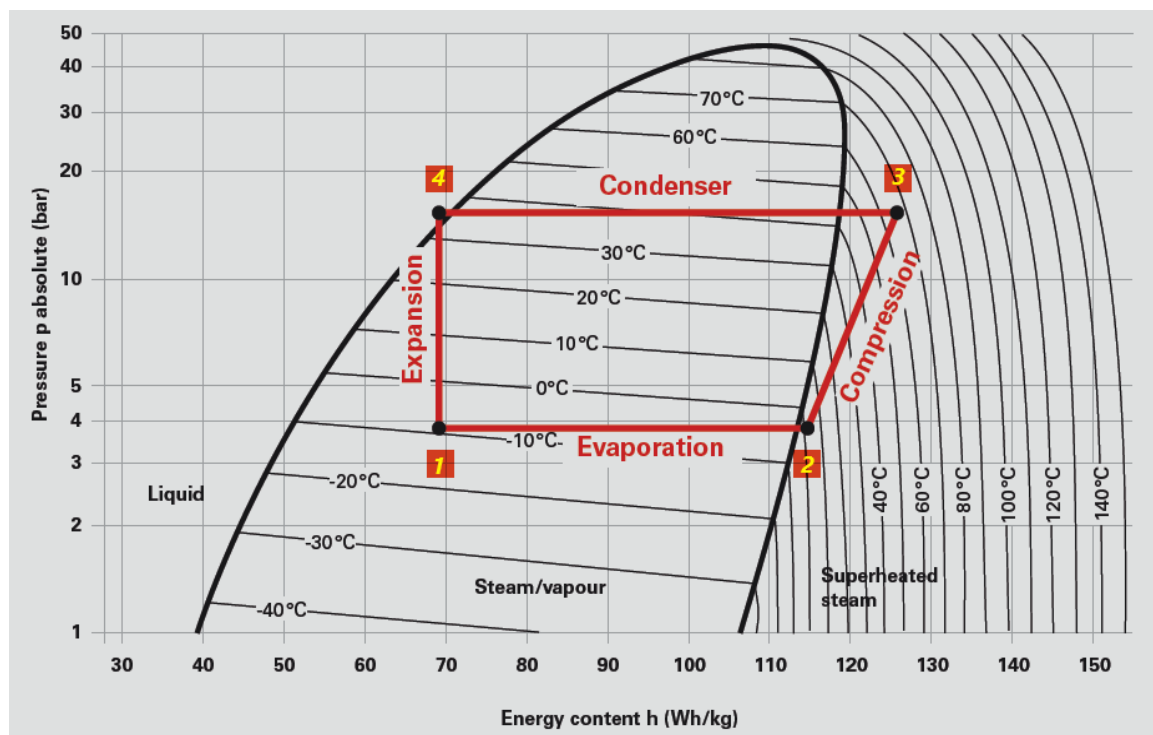


Figura 1. 20 : Ciclo Refrigerante R 407C - Diagrama p-h

1.4 Focos de calor

Como bien se menciona en los apartados **1.2** y **1.3** , para llevar a cabo el correcto funcionamiento de la bomba de calor es un requerimientos indispensable identificar los focos de calor, para poder ubicar el equipo según la necesidad del proceso a llevar a cabo.

Los focos de calor deben cumplir con los siguientes requisitos para brindar un comportamiento homogéneo en el proceso:

- Constante: no debe presenta fluctuaciones en su temperatura, se tiene que buscar un foco de calor de flujo constante.
- Disponibilidad : la presencia del mismo debe estar disponible permanentemente y exclusivamente para la bomba de calor, ya que, prescindir del mismo afecta el funcionamiento del equipo.
- Suficiente: el foco de calor debe ser cuantitativamente adecuado para la necesidad que requiera la bomba de calor.

Respetando estos requisitos vamos a obtener un gran aporte de calor en el tiempo a la mayor eficiencia posible.

Ejemplos Industriales de Focos de Calor:

- Circuito de agua de torres de enfriamiento
- Flujos de proceso que se requieran enfriar
- Disipación de calor en plantas de refrigeración
- Calor rechazado en compresores de aire
- Aire caliente o gases de procesos
- Calor geotérmico
- Calor residual en procesos químicos
- Calor emanado por maquinas industriales

1.5 Tipos de bombas de calor

Bombas de calor por compresión - Ciclo cerrado

Este tipo de bombas utilizan un compresor mecánico accionado por un motor eléctrico, el cual comprime el fluido, en este caso un refrigerante. Se denomina un ciclo cerrado porque el refrigerante recorre un ciclo cerrado pasando por diferentes etapas empezando y terminando en su estado inicial, y así repitiendo el proceso cíclicamente.

En los apartados **1.2** y **1.3** se detalla con mayor profundidad sus funcionamiento.

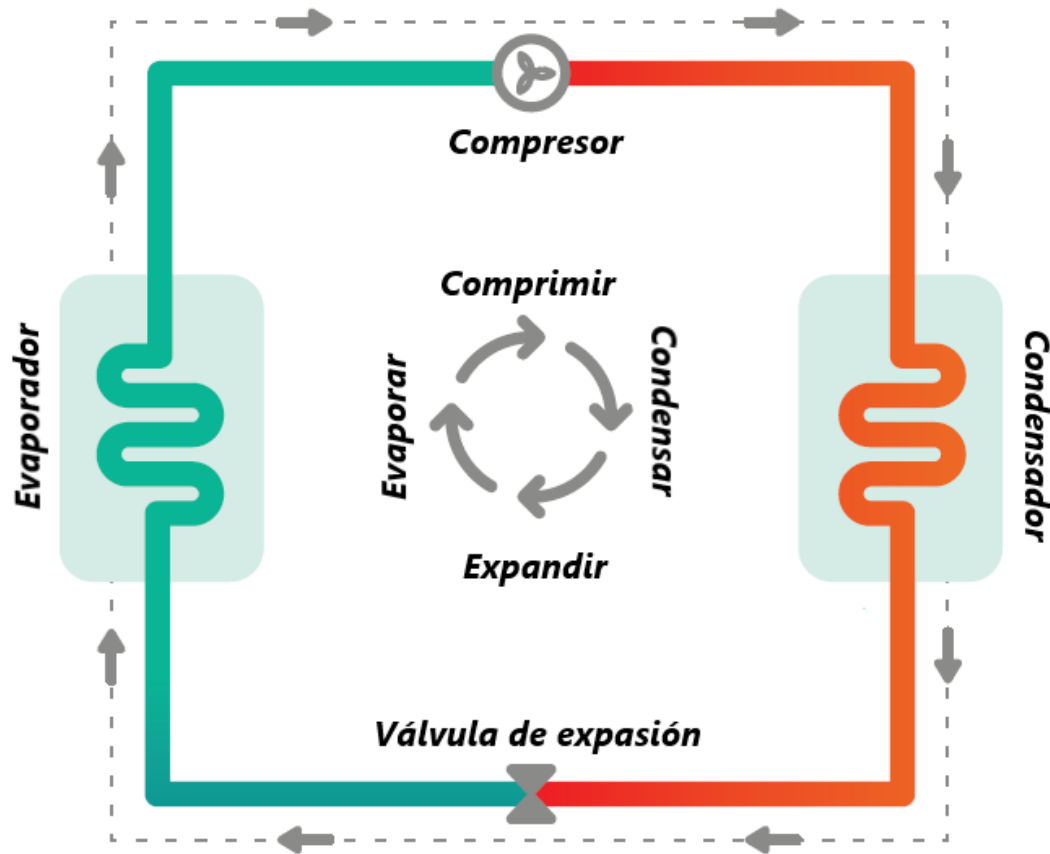


Figura 1. 21 : Ciclo cerrado, bomba de calor por compresión

Bomba de calor por absorción - Ciclo cerrado

Las bombas de calor de absorción cumplen con los mismos principios físicos que las bombas de calor de compresión, a diferencia de estas, las bombas de calor por absorción utilizan gas natural y un compresor térmico en vez de un compresor mecánico.

Una bomba de calor de absorción es altamente eficiente, al no tener piezas mecánicas móviles, funciona relativamente silenciosamente

Se basa en la separación de dos componentes de una mezcla de fluidos, generalmente se utiliza amoníaco (soluto), con una presión de vapor más alta, y agua (solvente) con una presión de vapor más baja.

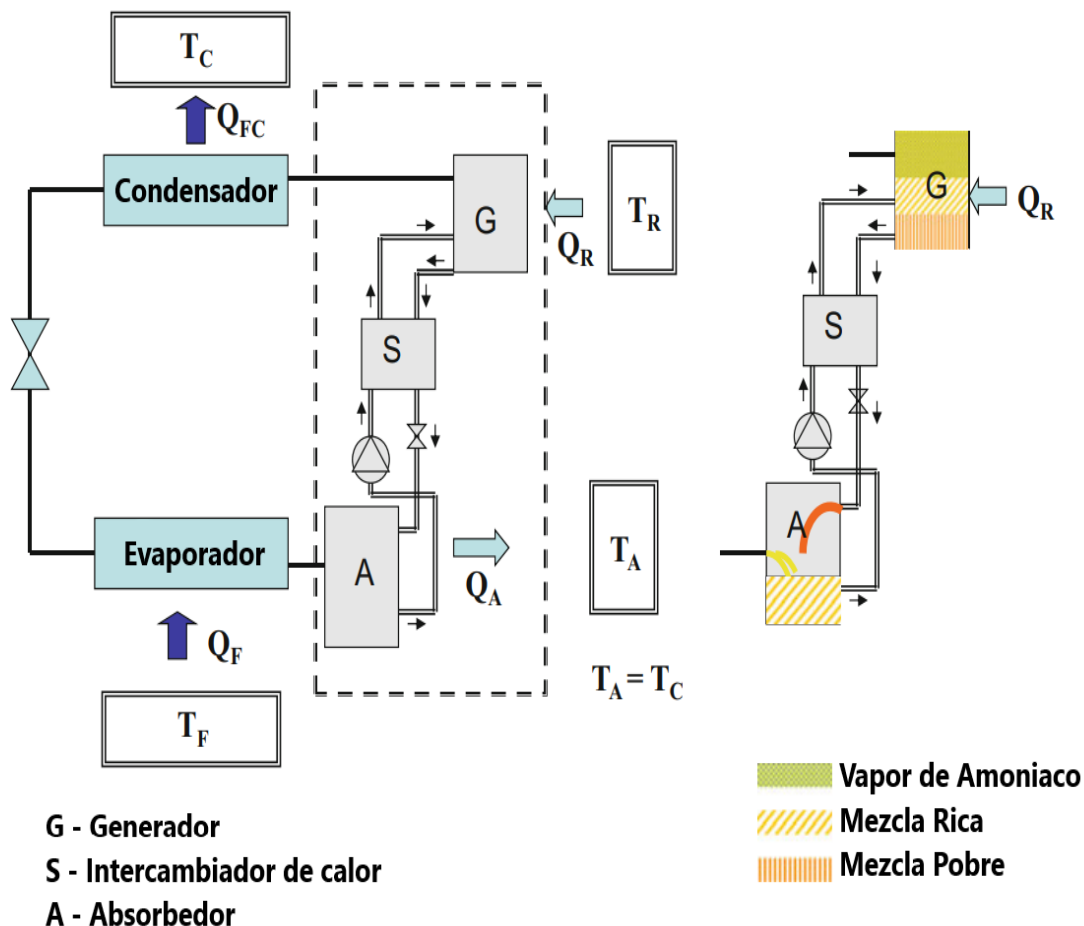


Figura 1. 22 Ciclo cerrado, bomba de calor por absorción

Encerrado en línea de puntos, se observa en la figura 1.7, el aparato que reemplaza al compresor mecánico, luego vemos los típicos componentes de una bomba de calor a compresión, tales como, condensador, válvula de expansión y evaporador, por donde fluiría el amoníaco puro.

En el generador, se separa el agua del amoníaco, gracias al suministro de calor, ya sea por un combustible o un foco de calor residual (mayor aprovechamiento energético). En el generador, sale amoníaco puro hacia el condensador, sale una mezcla pobre hacia un intercambiador de calor y entra una mezcla rica (mezcla soluto-solvente) para ser destilada, la cual al calentarse permite la obtención de amoníaco puro. Este último pasa por el condensador donde cede calor, para luego pasar a través de la válvula de expansión para luego entrar en el evaporador donde recibe calor, para finalmente terminar en el absorbedor, donde se mezclará con agua (solución pobre) produciendo una reacción exotérmica, por lo general el foco de calor del absorbedor coincide con la del condensador ($T_A = T_C$). La mezcla resultante, se bombea hacia el generador (con un consumo de energía bastante bajo), pasando previamente por un intercambiador de calor, donde interacciona la mezcla rica (del absorbedor hacia el generador) y la mezcla pobre (del generador hacia el absorbedor)



Figura 1. 23 Bomba de calor por absorción industrial

Características de las mezclas de agua y amoníaco.

En el caso de las bombas de calor por compresión, estas utilizan un único fluido puro, por ende, el cambio de fase entre líquido y vapor ocurre a una temperatura bien definida en correspondencia con una presión fija. La temperatura se mantiene constante hasta alcanzar la saturación completa de vapor, lo que se denomina punto de ebullición.

En el caso de la mezcla de dos componentes, como en las bombas de calor por absorción de agua/amoniaco, la región de cambio de fase está constituida por vapor y líquido y está delimitada por dos límites físicos.

1. Entre la región de dos fases y la región gaseosa, se denomina punto de rocío. Toda la mezcla está saturada de vapor y solo existe vapor por encima de este punto.
2. La separación del líquido de la región de dos fases se llama punto de burbuja. Esto se debe a que es donde se genera la primera burbuja.

Los dos componentes de la mezcla tienen una presión de vapor diferente, la aparición de la primera burbuja del componente más volátil no coincide con la saturación.

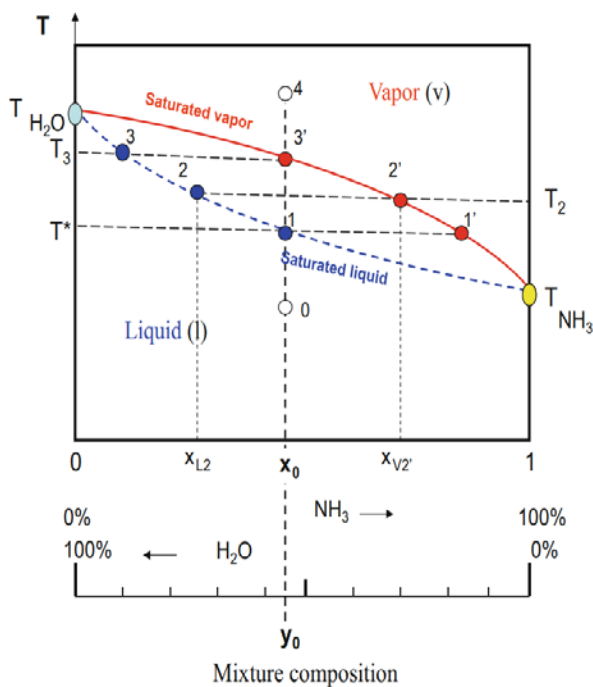


Figura 1. 24 Sustancia mixta

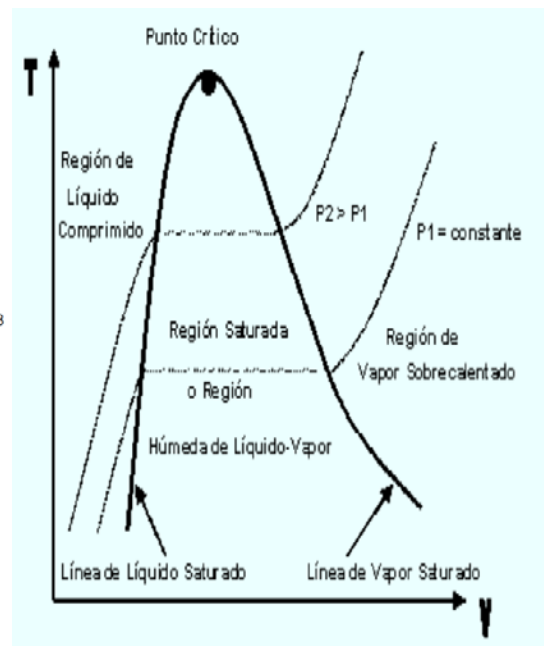


Figura 1. 25 Sustancia pura

1.6 Conceptos Termodinámicos

Primera Ley de la Termodinámica

La energía no se puede crear ni destruir durante un proceso; sólo puede cambiar de forma. Por lo tanto, cada cantidad de energía por pequeña que sea debe justificarse durante un proceso. La energía siempre se conserva.

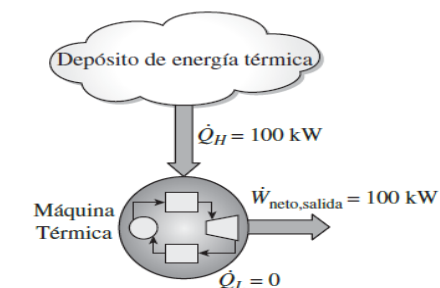
En nuestro caso, la bomba de calor no genera calor de la nada, sino que en principio el compresor se alimenta de energía eléctrica, que la transforma en energía mecánica, para permitir el flujo del refrigerante por el circuito y a su vez este cambiar sus estados para intercambiar calor con los dos focos predominantes. En pocas palabras, tenemos energía eléctrica que se transforma en energía mecánica, para en última instancia transformarse en energía calórica para intercambiar calor con los focos.

Segunda Ley de la Termodinámica.

La primera ley de la termodinámica nos indica que tiene la energía de un proceso se tiene que conservar en todo el desarrollo del mismo, pero no nos indica el sentido de desarrollo de esta energía. Esta primera ley no restringe la dirección de un proceso, pero satisfacerla no asegura que el proceso ocurra en la realidad, por ende, aquí se plantea la segunda ley de la termodinámica.

- **La segunda ley de la termodinámica enunciado de Kelvin-Planck**

Es imposible que un dispositivo que opera un ciclo reciba calor de un solo foco y produzca una cantidad neta de trabajo. En otras palabras, ninguna máquina térmica puede tener una eficiencia térmica de 100%

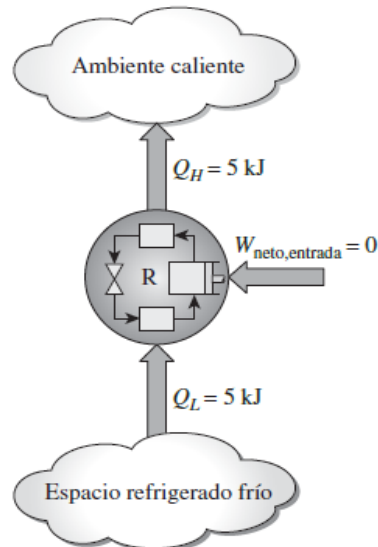


Ésta es una máquina térmica que viola el enunciado de Kelvin-Planck de la segunda ley.

**Figura 1. 26 Segunda Ley
enunciado Kelvin-Planck**

- **La segunda ley de la termodinámica enunciado de Clausius**

Es imposible construir un dispositivo que opere en un ciclo sin que produzca ningún otro efecto que la transferencia de calor de un cuerpo de menos temperatura a otro de mayor temperatura.



Éste es un refrigerador que viola el enunciado de Clausius de la segunda ley.

Figura 1. 27 Segunda Ley enunciado Clausius

Analizando los dos últimos enunciados, aplicados a la bomba de calor, en el primero de Kelvin-Planck esto se cumple, ya que las bombas de calor trabajan con dos focos de calor, uno frío y otro caliente (los que interactúan con el condensador y el evaporador respectivamente).

Respecto al segundo enunciado de Clausius, en la bomba de calor las interacciones de calor se dan del foco caliente al foco frío, en el caso del evaporador el foco caliente interactúa con el evaporador que se encuentra a menor temperatura, el flujo de calor es del foco caliente hacia el evaporador. Luego en el condensador el flujo de calor se da del condensador que está más caliente hacia el foco externo frío. En ambos casos el flujo de calor es del punto de mayor temperatura hacia el de menor temperatura, por lo tanto, cumple con el segundo enunciado de la segunda ley de la termodinámica de Clausius.

Ciclo de Carnot

Como sabemos, ninguna máquina de calor puede tener eficiencia de 100%. Por lo tanto, ¿Qué tanta eficiencia puede tener una máquina, dado dos focos de calor a temperatura T_c y T_f ?, Según Sadi Carnot, ingeniero y físico francés, quien contesto esta pregunta, inventando una máquina de calor idealizada que tiene la máxima eficiencia posible, respetando la segunda ley de la termodinámica. El ciclo de esta máquina se denomina ciclo de Carnot. Cabe aclarar que es ciclo se considera totalmente reversible, no tiene en cuenta perdida de energía por fricción ni interacciones de otras partes de la maquina con el exterior, por ende, este caso ideal, se toma de parámetro para cuantificar los casos reales donde si hay interacción de los componentes de una maquina con el medio exterior y fricción existente en el proceso, por lo tanto, en la vida real los procesos son irreversibles y su eficiencia se compara como si estos fueran reversibles.

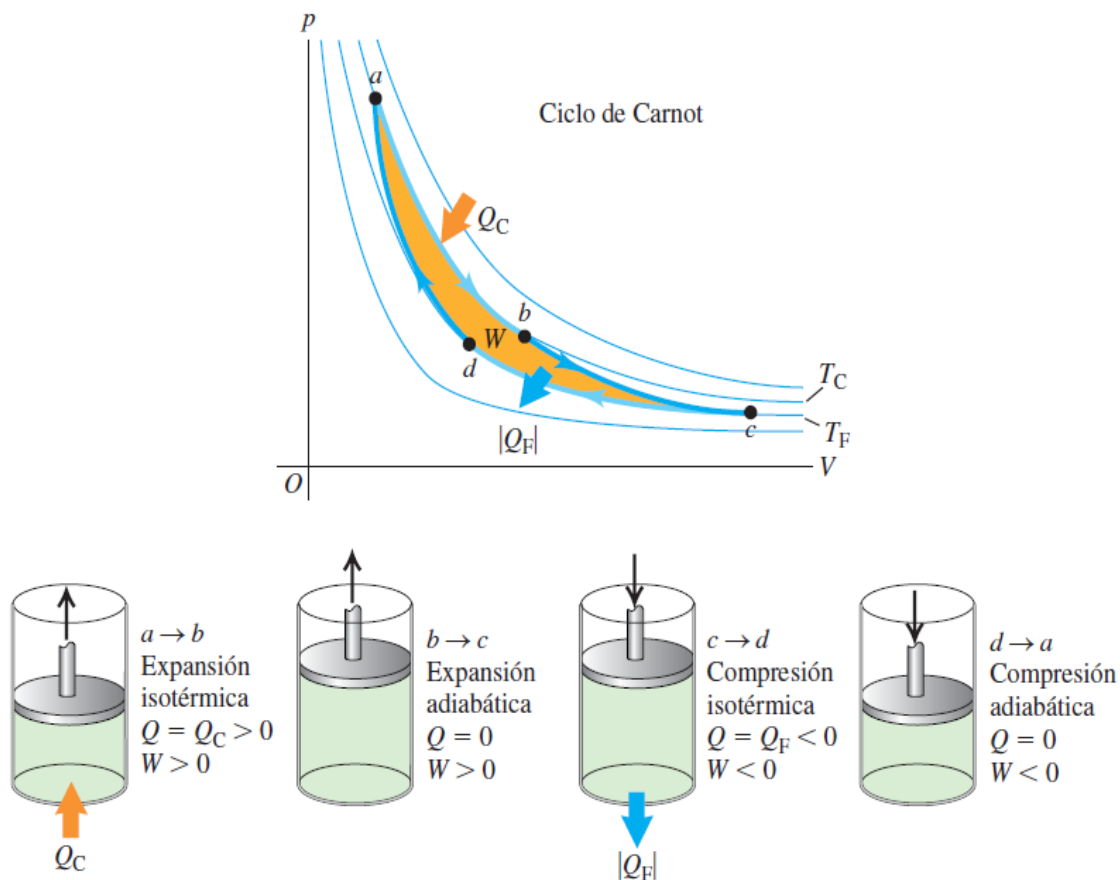


Figura 1. 28 Ciclo de Carnot

Principios de Carnot:

- La eficiencia de una máquina térmica irreversible es siempre menor que la eficiencia de una máquina reversible que opera entre los mismos dos depósitos.
- Las eficiencias de las máquinas térmicas reversibles que operan entre los mismos dos depósitos son las mismas.

La eficiencia térmica de cualquier maquina térmica, reversible o irreversible, se determina mediante la ecuación:

$$\eta_{\text{ter}} = 1 - \frac{Q_L}{Q_h}$$

Q_h : calor transferido hacia la maquina térmica desde el foco de alta temperatura T_h

Q_L : calo rechazado hacia un depósito de baja temperatura T_L

Para maquinas térmicas reversibles, la ecuación anterior se puede escribir de la siguiente manera:

$$\eta_{\text{ter, reversible}} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

Esta relación se denomina eficiencia de Carnot porque la maquina termina de Carnot es la maquina térmica reversible mejor conocida. Por ende, es la eficiencia máxima que puede tener una máquina térmica que opera entre dos depósitos de energía térmica a temperatura T_L y T_H . Todas las máquinas térmicas irreversibles (es decir, reales) que operan entre estos límites de temperatura (T_L y T_H) tienen eficiencias menores. Una máquina térmica real no puede alcanzar esta máxima eficiencia teórica porque es imposible eliminar por completo las irreversibilidades relacionadas con el ciclo real.

Las eficiencias térmicas de las máquinas térmicas reales y reversibles que operan entre los mismos límites de temperatura se comparan

$$\eta_{\text{ter}} \begin{cases} < \eta_{\text{ter, rev}} & \text{maquina termica irreversible} \\ = \eta_{\text{ter, rev}} & \text{maquina termica reversible} \\ > \eta_{\text{ter, rev}} & \text{maquina termica imposible} \end{cases}$$

Ciclo de Carnot inverso

Como se describió en el ciclo de Carnot, este al ser un ciclo reversible permite recorrer el mismo en sentido contrario, a esto se lo denomina ciclo de Carnot inverso, con lo cual se convierte en el ciclo de refrigeración de Carnot. El ciclo es exactamente el mismo excepto que las direcciones de las interacciones de calor y trabajo están invertidas: el calor en la cantidad Q_L se absorbe de un depósito a baja temperatura, el calor en la cantidad Q_H se rechaza hacia un depósito de alta temperatura, y se requiere una cantidad de trabajo W_{entrada} para completar el ciclo.

Las bombas de calor cumplen con este principio, por lo tanto, este ciclo nos interesa, ya que es de suma importancia para poder entender, analizar y evaluar la implementaciones de bombas de calor en procesos industriales.

El diagrama P-V del ciclo de Carnot invertido es el mismo que corresponde al ciclo de Carnot, la diferencia radica en que se invierten las direcciones de los procesos.

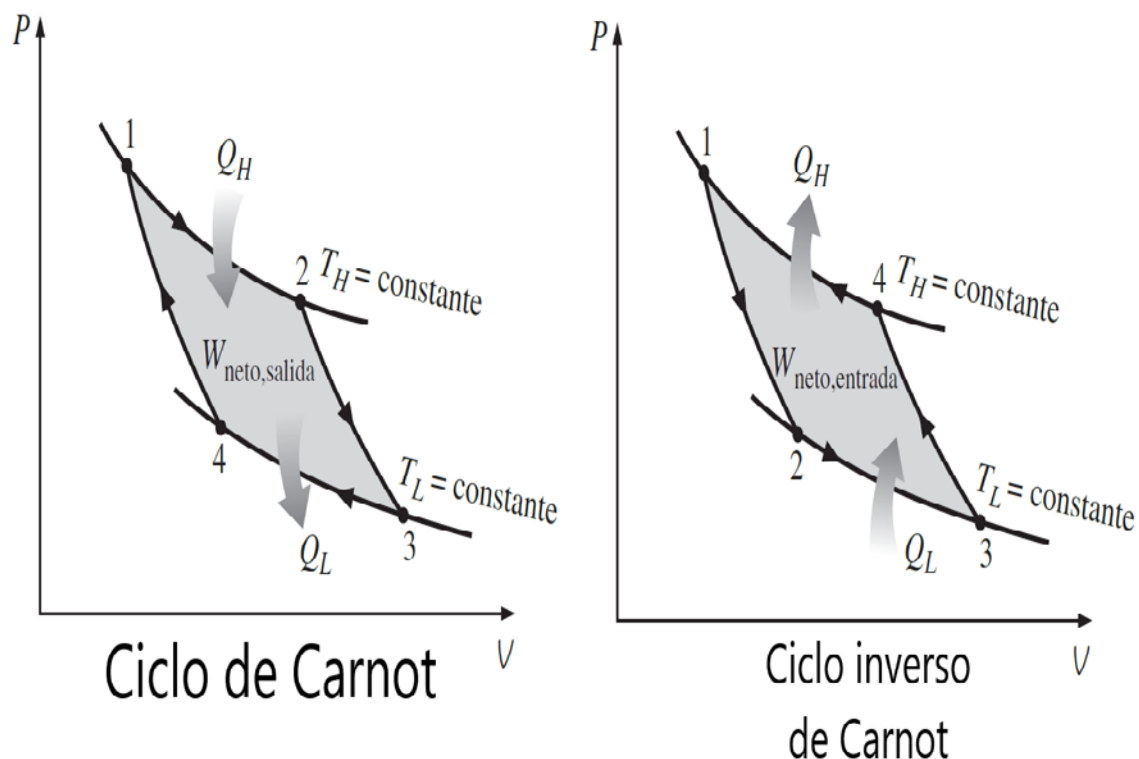


Figura 1. 29 Diferencia entre Ciclo Carnot y Ciclo inverso Carnot

A diferencia del ciclo Carnot, el ciclo inverso de Carnot tiene su propia fórmula para calcular la eficiencia de la bomba de calor. El coeficiente de desempeño de cualquier bomba de calor, reversible o irreversible, se expresa:

$$COP_{bomba\ de\ calor} = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}}$$

Q_L : cantidad de calor absorbido del foco de baja temperatura

Q_H : cantidad de calor rechazada hacia el foco de temperatura alta

Para el caso de una bomba de calor reversible, se determinan al reemplazar las razones de transferencia de calor en la anterior relación por los cocientes de las temperaturas absolutas de los focos de calor de temperatura alta y baja.

$$COP_{bomba\ de\ calor, reversible} = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}}$$

Estos son los coeficientes de desempeño más altos que puede tener una bomba de calor que opera entre los límites de temperatura T_L y T_H . Las bombas de calor reales que operan entre estos límites de temperatura, tienen menores coeficientes de desempeño.

$$COP_{Bomba\ de\ calor} \begin{cases} < COP_{Bomba\ de\ calor, reversible} & \text{bomba de calor irreversible} \\ = COP_{Bomba\ de\ calor, reversible} & \text{bomba de calor reversible} \\ > COP_{Bomba\ de\ calor, reversible} & \text{bomba de calor imposible} \end{cases}$$

En resumen, el $COP_{Bomba\ de\ calor}$ mide el desempeño del equipo, la mayoría de las bombas de calor tienen un $COP_{Bomba\ de\ calor}$ promedio de entre 2 y 3.

1.7 Aplicaciones industriales

Industrias agroalimentarias: este sector presenta elevados requerimientos de agua caliente para lavado (30-60°C), procesos de secado (desde 40°C), precalentamiento de soluciones (20-60°C), concentración de sustancias (60-70°C), pasteurización (>70°C), cocción de alimentos (>80°C). Normalmente en estas instalaciones se dispone de sistemas de refrigeración, los cuales disipan gran cantidad de calor al ambiente, o bien evacuación de riles (residuos industriales líquidos). Este calor rechazado puede ser aprovechado por un sistema de bomba de calor para suministrar agua caliente a dichos procesos.

Pisciculturas: en las pisciculturas resulta muy interesante considerar una bomba de calor entre dos importantes flujos de proceso: el agua de rechazo, y el agua de reposición. Una bomba de calor que aproveche la energía contenida en el agua de rechazo, para a su vez calentar el agua de reposición, permitiría a esta industria reducir el consumo de energía de la planta (menor consumo combustibles), reducir costos de operación, y a su vez aumentar el nivel de producción (mayor ratio de crecimiento de los alevines).

Plantas de Harina de Pescado: las plantas de harinas de pescado normalmente presentan riles que son evacuados al exterior a temperaturas cercanas a los 40°C. Este flujo de calor representa una interesante fuente de calor para un sistema de bomba de calor. En esta aplicación se podría implementar un sistema que permita bien producir agua caliente para lavado (60-80°C), precalentar parte de un proceso (40-80°C), o precalentar el agua de calderas.

Minería: la minería del cobre, principalmente, presenta elevados requerimientos de calentamiento de soluciones a temperaturas cercanas a los 50°C. Si se dispone de una potencial fuente de calor, como podrían ser el flujo de fluido en un mineroducto o acueducto (u otro flujo de fluido a media-baja temperatura), es posible implementar una bomba de calor para generar agua caliente, y de esta forma, remplazar los calentadores de agua existentes.

Industria Cervecería: en este sector es habitual encontrar un circuito de torres de enfriamiento (o condensadores) asociados a la planta de refrigeración. El calor disipado en estos sistemas (normalmente a unos 30°C), puede ser aprovechado por un sistema de bomba de calor para generar agua caliente para lavado (50-80°C), o bien para precalentamiento de soluciones.

Industria Forestal: dos aplicaciones que son de gran interés en este sector son algunos de los procesos de secado (50-80°C) e impregnación de la madera (50-100°C).

Industria Química: el sector químico se caracteriza por importantes requerimientos de precalentamiento de sustancias o soluciones (40-80°C), así como de agua de lavado (30-70°C) para limpieza de las instalaciones. También es frecuente encontrar necesidades paralelas de enfriamiento (5-15°C), lo cual se traduce en interesantes oportunidades para sistemas de bomba de calor. Aprovechando el calor rechazado en los sistemas de refrigeración, o en riles, es factible implementar un sistema de bomba de calor.

Embotelladoras: las embotelladoras presentan importantes requerimientos de agua caliente para sus procesos de lavado e higienización de botellas (50-75°C). A su vez, la propia planta genera riles a una temperatura cercana a los 35°C, lo cual permitiría implementar sistemas de bombas de calor.

Industria Textil: tanto los procesos de coloración (40-130°C), así como el agua de lavado (30-70°C) y la calefacción de los edificios (desde 20°C), son interesantes aplicaciones para sistemas de bombas de calor. Al aprovechar el calor contenido en los riles generados en la propia planta.

2. Aplicación Industrial

Para el presente proyecto se investiga las tecnologías innovadoras actuales que se utilizan en la industria europea y estadounidense para aprovechar los focos de calor en las industrias para incorporar una bomba de calor o en el caso de una sala de compresores aprovechar el calor que expulsan estos mismo, el cual se utiliza para calentar agua de proceso para diversos usos a través de un intercambiador de calor.

2.1 Aprovechamiento calor residual compresores

El 100% de la energía eléctrica que se utiliza para hacer funcionar un compresor de aire, se transforma en calor. Ese calor se subdivide en dos, **Calor aprovechable** y **Calor no aprovechable** lo que porcentualmente corresponde a un **96%** y un **4%** respectivamente. El calor no aprovechable corresponde un **2%** a la emisión de calor de la estación compresora hacia la atmosfera y otro **2%** que es absorbido por el aire comprimido. Y el calor aprovechable corresponde un **5%** al calor emitido por el motor, **15%** de calor obtenido por enfriar el aire comprimido y por último un **76%** corresponde a la energía térmica obtenida por enfriar el aceite del compresor.

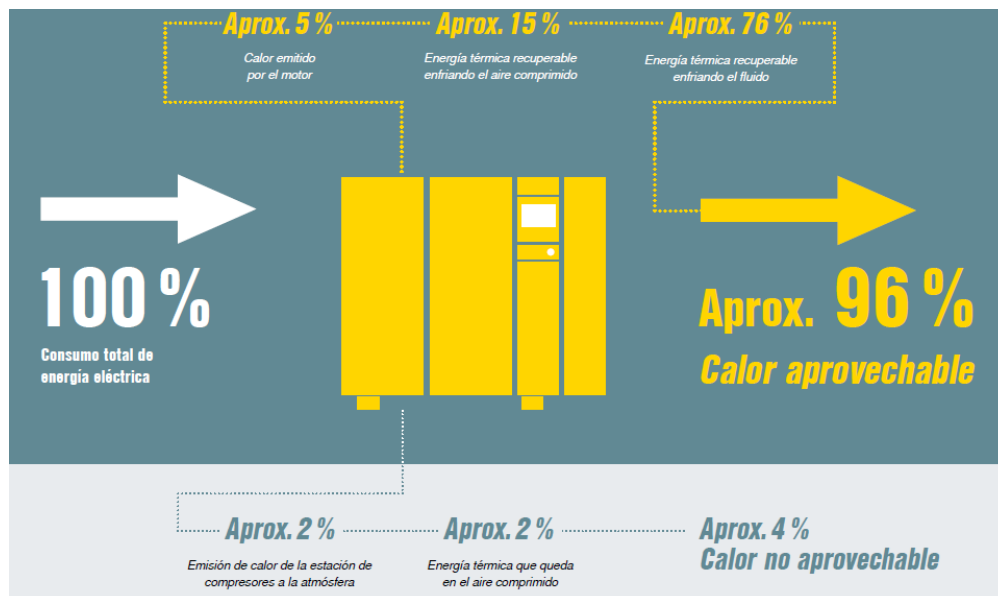


Figura 2. 1 Esquema de calor de un compresor de aire

Para hacer efectivo el precalentamiento del agua, existen dos tipos de intercambiadores de calor comerciales, los cuales se detallan a continuación.

Intercambiador de calor de placas

Se genera el intercambio de calor entre el agua de proceso y el aceite del compresor de aire, dependiendo del tamaño del intercambiador de placas este puede ser interno o externo.

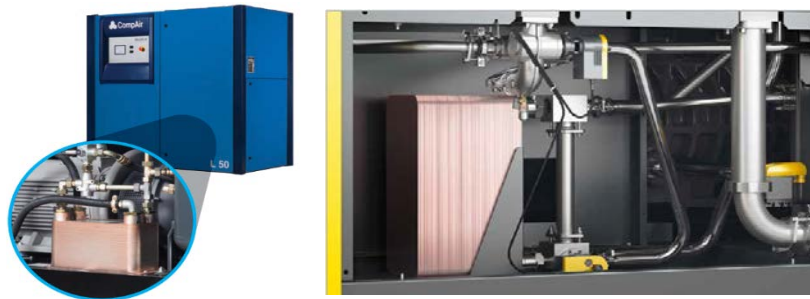


Figura 2. 2 Intercambiador de placas interior Compresor de Aire



Figura 2. 3 Intercambiador de placas exterior Compresor de Aire

Aplicación:

- Alimentación de sistemas
- centrales de calefacción
- Lavanderías
- Plantas de galvanización
- Calor para procesos en general

Intercambiador de calor de tubos

Se genera el intercambio de calor entre el agua de proceso y el aceite del compresor de aire o se capta todo el aire caliente expulsado por el compresor de aire y se lo fuerza a pasar por el intercambiador de tubos para interactuar con el agua.

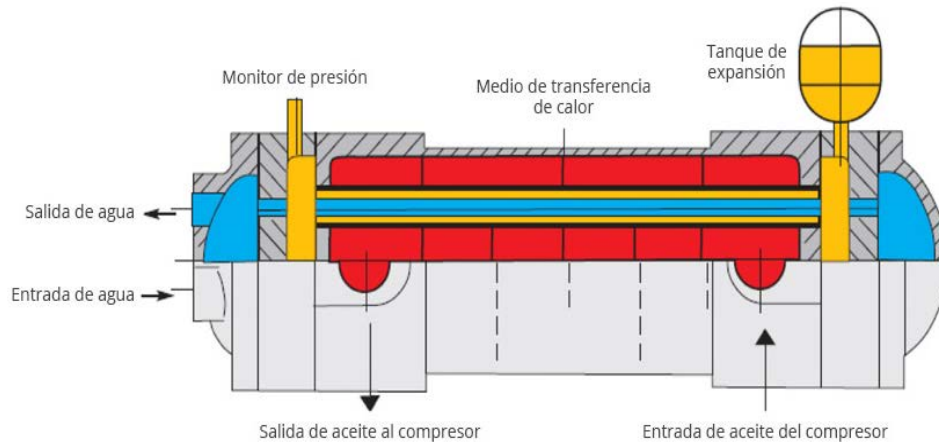


Figura 2. 4 Intercambiador de tubos Aceite Compresor-Agua



Figura 2. 5 Intercambiador de tubos Aire Compresor-Agua

Aplicación:

- Industria de la alimentación
- Calentamiento de agua corriente
- Industria química y farmacéutica
- Grandes cocinas

Beneficios del aprovechamiento del calor residual de los compresores de aire

Tal como se indicó al principio de este capítulo, no solamente el aprovechamiento del calor residual de los compresores contribuye para precalentar agua para la bomba de calor, sino también permite evitar una generación de CO₂ hacia la atmosfera, ya que este calor generado por los compresores no produce (no es consecuencia de ninguna combustión) CO₂. Cada litro gasóleo para calentar agua que deja de utilizarse conlleva a evitar una emisión de CO₂ de 2,727 kg, de esta forma se optimizan, protegen los recursos y se contribuye a ralentizar el cambio climático. Además, se suprime la necesidad de obtener aire comprimido, los compresores de aire permiten hoy en día ahorrar en un sistema aparte encargado de precalentar esa agua, por ende, al prescindir de este sistema de precalentamiento estamos ahorrando costes de mantenimiento del mismo, de esta forma solo se abocará el ***mantenimiento a un solo sistema donde se comprime aire y se precalienta agua al mismo tiempo.***

Resumen de Beneficios:

- Ahorro significativo en costes de energía
- Tiempo de amortización extremadamente corto: los costes de inversión son bajos y el tiempo de amortización suele ser inferior a 1 año
- Menores emisiones de CO₂
- Fácil instalación y funcionamiento
- Pequeña huella ecológica
- Alta fiabilidad
- Sin impacto en el suministro de aire comprimido

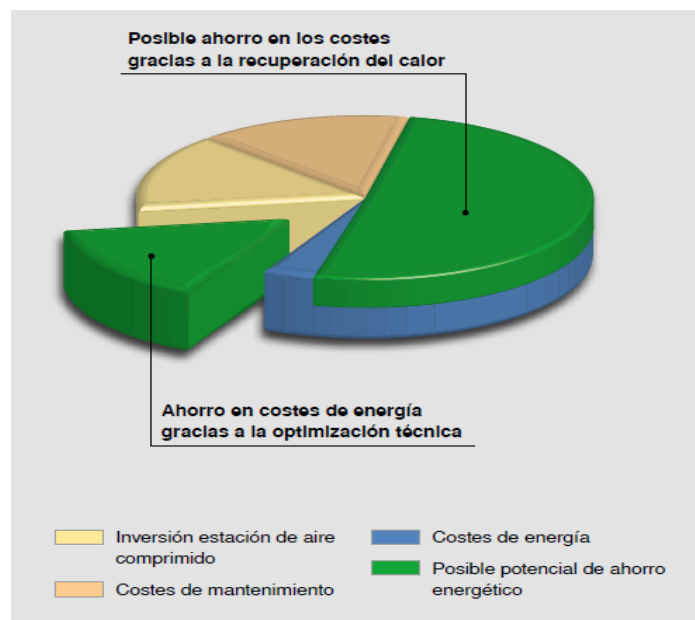


Figura 2. 6 Recuperación de calor Compresor de Aire

2.2 Diseño alternativo de intercambiador de calor

En este apartado se busca desarrollar una opción alternativa y de diseño propio de un intercambiador calor, aprovechando la expulsión de aire caliente del radiador del compresor. Se desarrollará ingeniería conceptual para permitir avanzar en un futuro sobre ingeniería en detalle. Se toma a modo de ejemplo un compresor de la marca Kaeser modelo SK 25. La idea básica es colocar un intercambiador de calor en la salida de aire caliente del compresor, para transferir la temperatura elevada del aire a el agua de proceso.



Figura 2. 7 Compresor Kaeser SK 25



Figura 2. 8 Salida de aire caliente



Figura 2. 9 Dimensiones salida de aire caliente

Datos técnicos Compresor SK 25

- Área de salida de aire caliente : $As = 150mm * 765mm = 114750 mm^2 = 0,11475 m^2$
- Temperatura aire caliente : $Tac = 55 ^\circ C$
- Velocidad de salida aire caliente : $Vs = 2,5 \frac{m}{s}$
- Caudal aire caliente: $Qac = As * Vs = 0,11475 m^2 * 2,5 \frac{m}{s} = 0,286875 \frac{m^3}{s} = 0,29 \frac{m^3}{s}$

Modelo	A presión máx. bar	Potencia nominal motor kW	Máximo rendimiento térmico disponible kW MJ/h ⁻¹		Agua caliente Calentamiento a 70 °C (ΔT 25 K) m³/h (ΔT 55 K) m³/h		Emplazamiento del sistema PTG int./ext.	Potencial de ahorro de fuel oil			Potencial de ahorro de gas		
								Fuel oil para calefacción litros	CO ₂ kg	Ahorro costos de calefacción USD/año	Gas natural m³	CO ₂ kg	Ahorro costos de calefacción USD/año
SM 10	8	5,5	4,8	17	0,16	0,07	Externo	811	2212	Potencial de ahorro en 1500 h/a 487,- 670,- 821,-	672	1344	Potencial de ahorro en 1500 h/a 504,- 693,- 851,-
SM 13		7,5	6,6	24	0,21	0,10		1116	3043		924	1848	
SM 16		9	8,1	29	0,29	0,13		1369	3733		1134	2268	
SK 22	8	11	9,4	34	0,32	0,15	Externo	1589	4333	953,- 1217,-	1317	2634	988,- 1261,-
SK 25		15	12,0	43	0,41	0,19		2028	5530		1681	3362	
ASK 28	8	15	13,6	49	0,47	0,21	Interno	2299	6269	Potencial de ahorro en 1500 h/a 1379,- 1714,- 2008,-	1905	3810	Potencial de ahorro en 1500 h/a 1429,- 1775,- 2080,-
ASK 34		18,5	16,9	61	0,58	0,26		2856	7788		2367	4734	
ASK 40		22	19,8	71	0,68	0,31		3347	9127		2773	5546	

Figura 2. 10 Datos técnicos intercambiador de placas Compresor SK 25

Datos técnicos Intercambiador de Calor a Diseñar

Para nuestro intercambiador de calor se propone un caudal de agua idéntico al proporcionado por el fabricante, para poder realizar comparaciones.

- Caudal de agua : $Qagua = 0,19 \frac{m^3}{h} = 5,27 * 10^{-5} \frac{m^3}{s} = 0,0000527 \frac{m^3}{s}$
- Temperatura agua entrada : $Tae = 25 ^\circ C$
- Constituidos por Caños Ø 21 – AISI 304 donde circula el agua de proceso

Las siguientes simulaciones se realizaron con el software SolidWorks

Diseño Intercambiador 01

- Detalles dimensionales: **Plano N°01** - ANEXO A

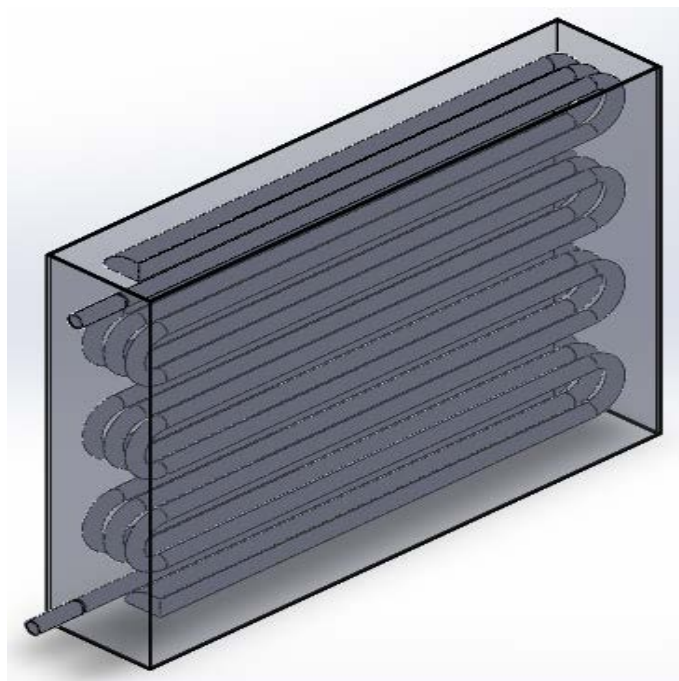


Figura 2. 11 Diseño - Intercambiador 01

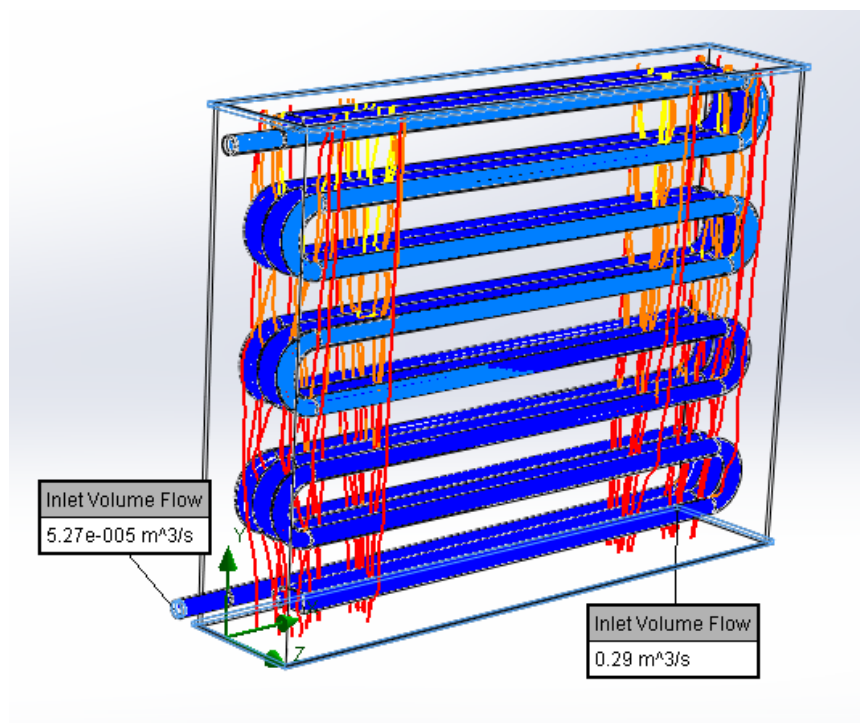


Figura 2. 12 Condiciones de flujo – Intercambiador 01

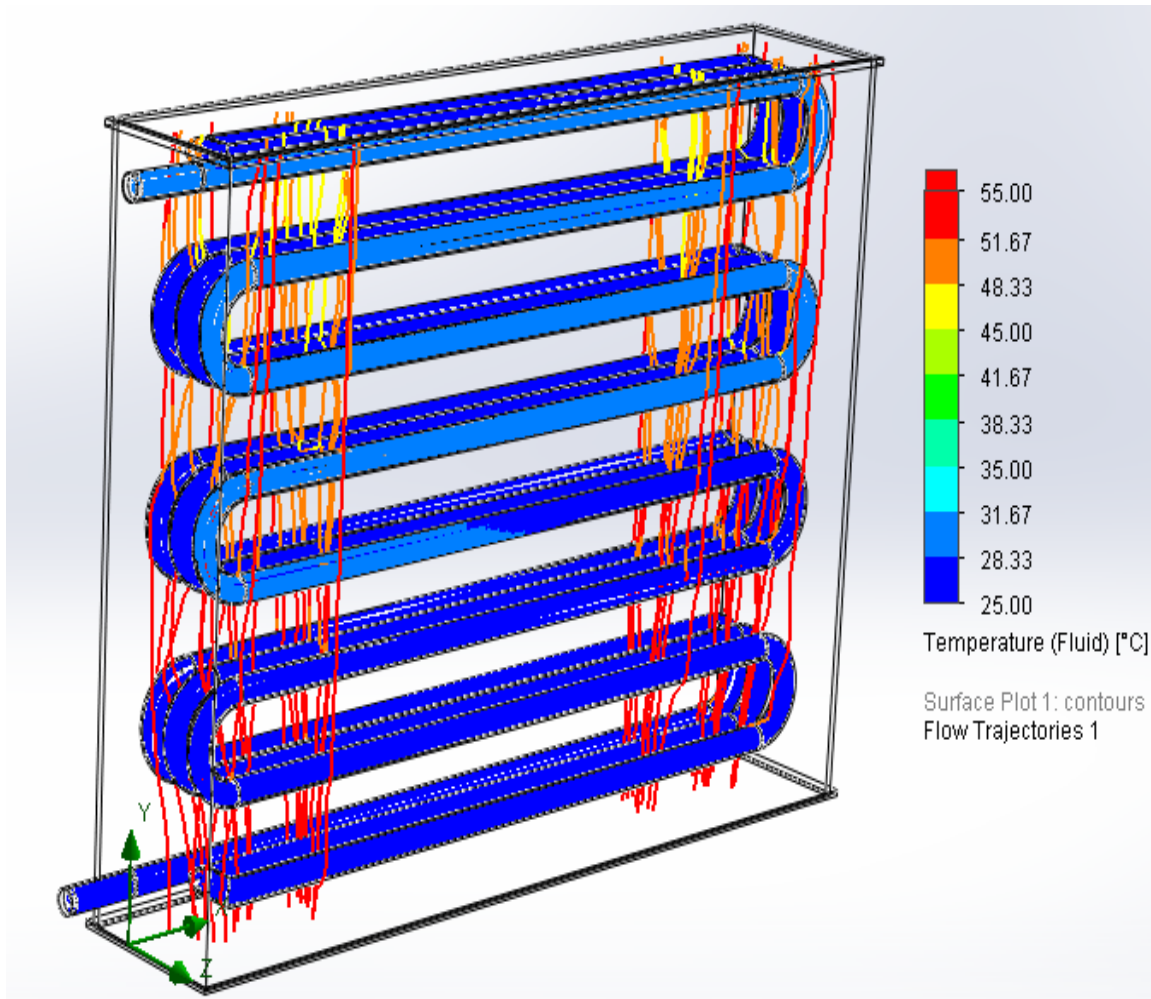


Figura 2. 13 Temperatura fluidos - Intercambiador 01

Local Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m ²]
Temperature (Fluid) [°C]	28.99	29.07	29.03	29.03	0.0002

Figura 2. 14 - Temperatura agua salida - Intercambiador 01

Diseño Intercambiador 02

- Detalles dimensionales: **Plano N°02** - ANEXO A

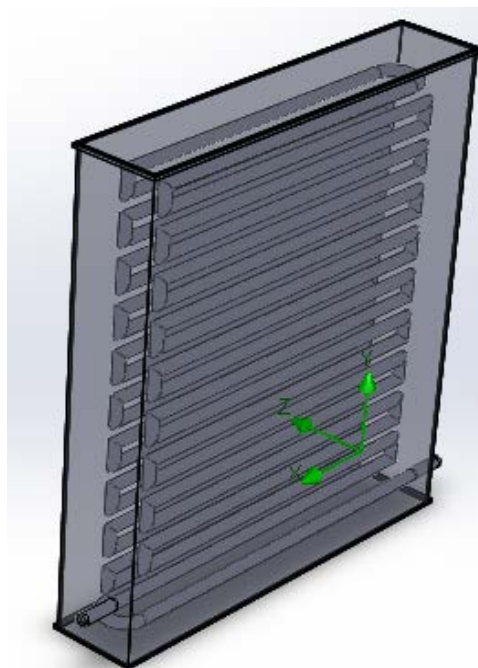


Figura 2. 15 Diseño - Intercambiador 02

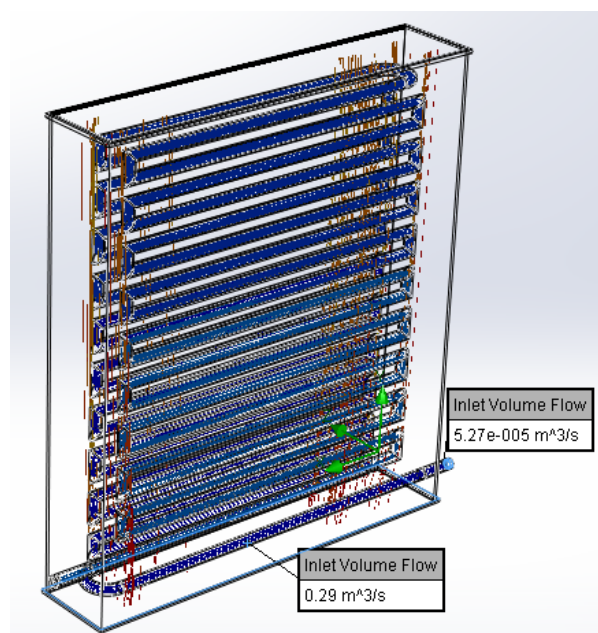


Figura 2. 16 Condiciones de flujo - Intercambiador 02

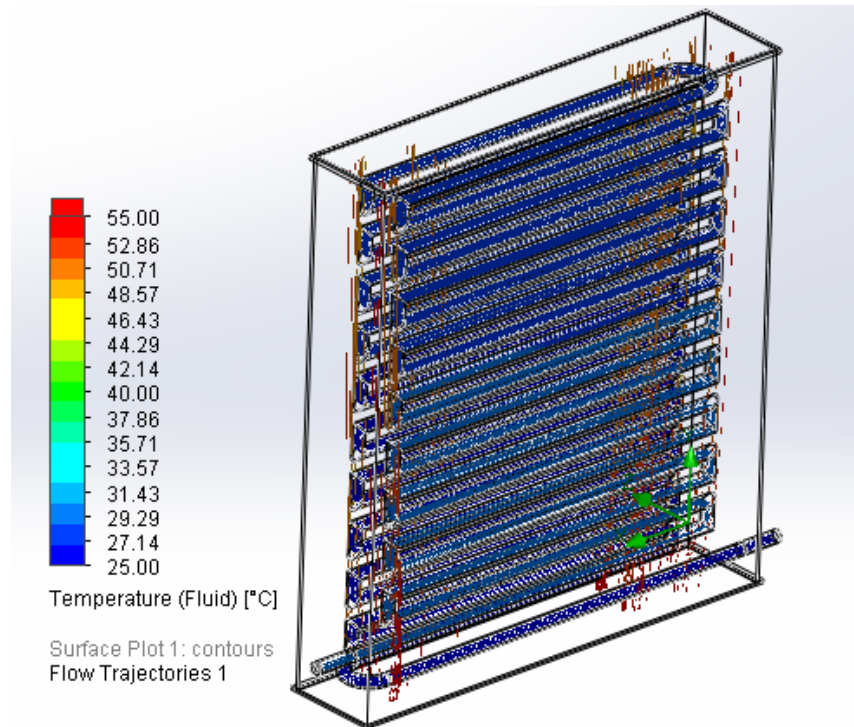


Figura 2. 17 Temperatura fluidos - Intercambiador 02

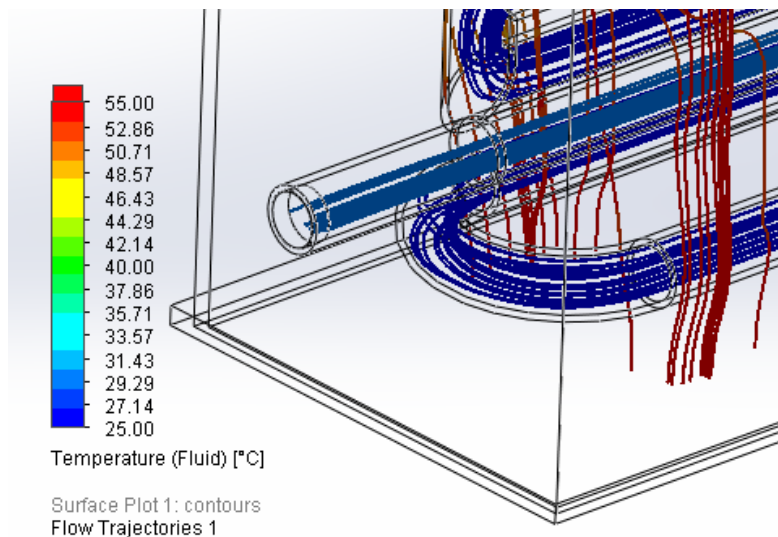


Figura 2. 18 Temperatura fluidos en la salida de agua - Intercambiador 02

Local Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m ²]
Temperature (Fluid) [°C]	29.49	29.53	29.51	29.51	0.0002

Figura 2. 19 Temperatura agua salida - Intercambiador 02

Diseño Intercambiador 03

- Detalles dimensionales: **Plano N°03** – ANEXO A

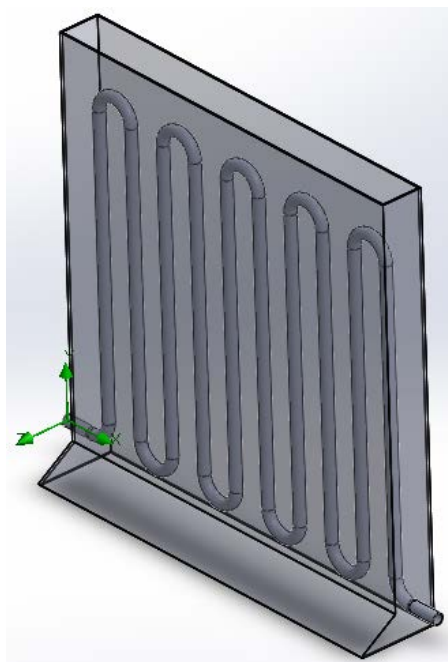


Figura 2. 20 Diseño - Intercambiador 03

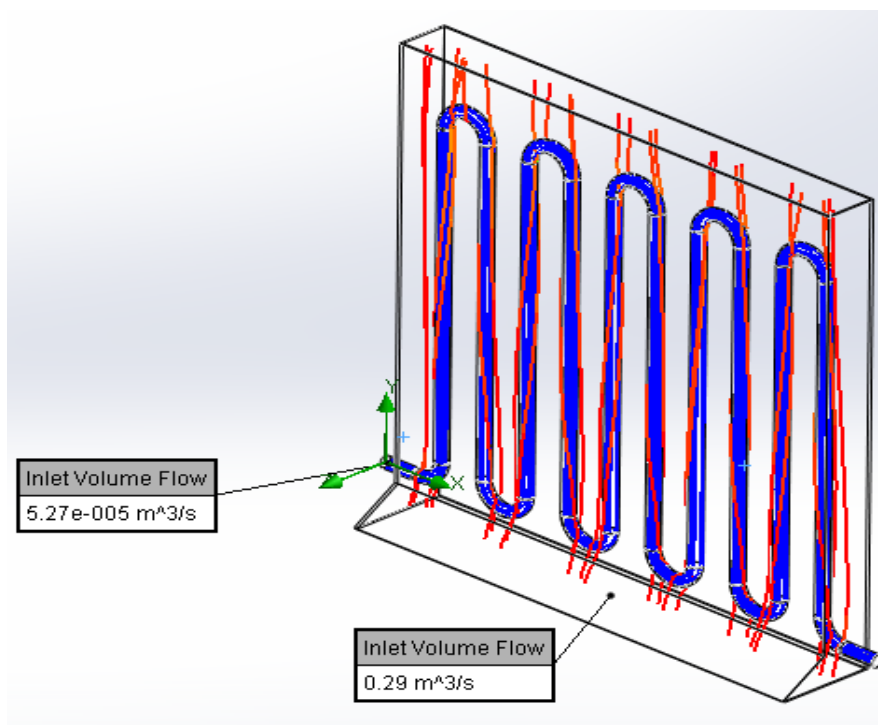


Figura 2. 21 Condiciones de flujo - Intercambiador 03

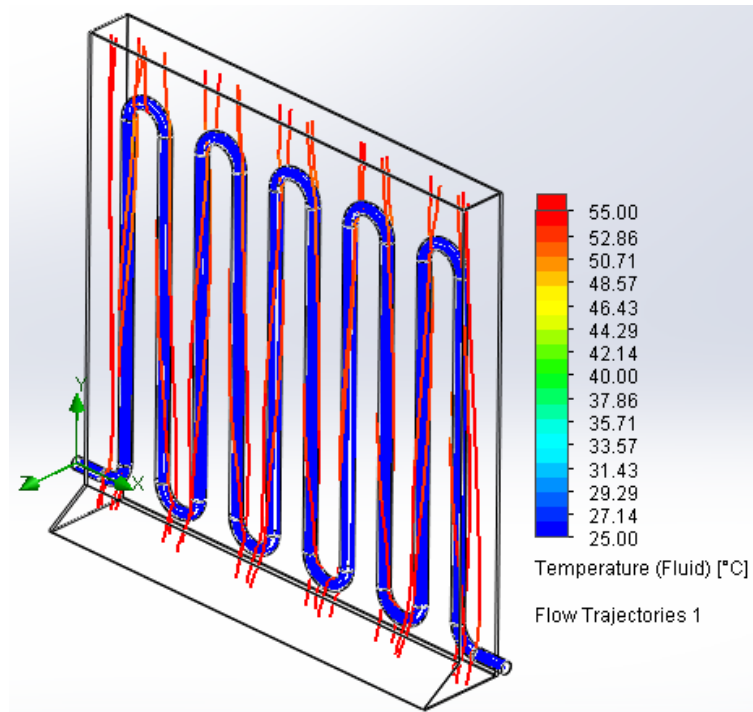


Figura 2. 22 Temperatura fluidos - Intercambiador 03

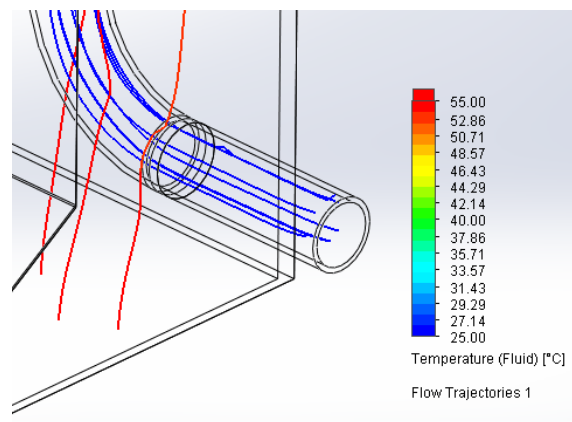


Figura 2. 23 Temperatura fluidos en salida de agua - Intercambiador 03

Local Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m ²]
Temperature (Fluid) [°C]	26.21	26.27	26.23	26.23	0.0002

Figura 2. 24 Temperatura agua de salida

Diseño Intercambiador 04

- Detalles dimensionales: **Plano N°04** – ANEXO A

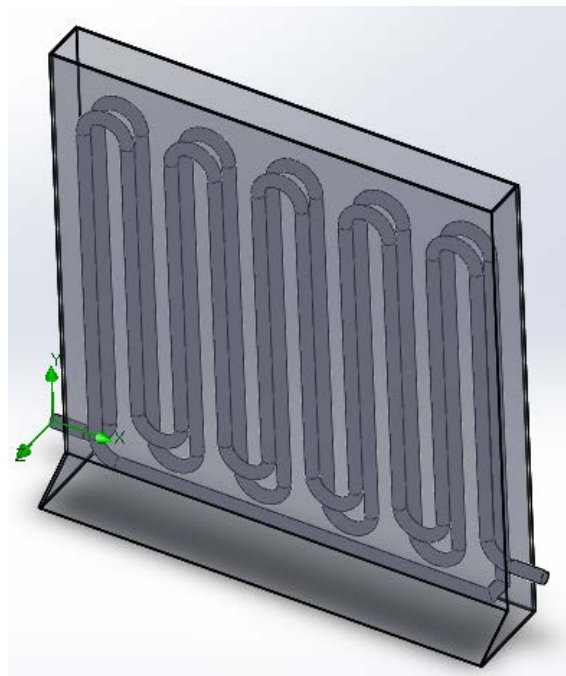


Figura 2. 25 Diseño - Intercambiador 04

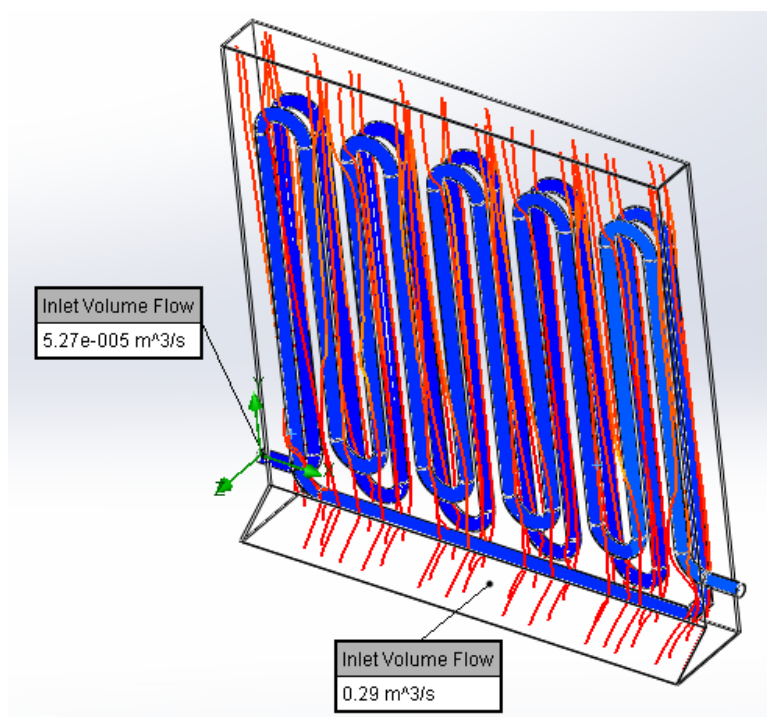


Figura 2. 26 Condiciones de flujo - Intercambiador 04

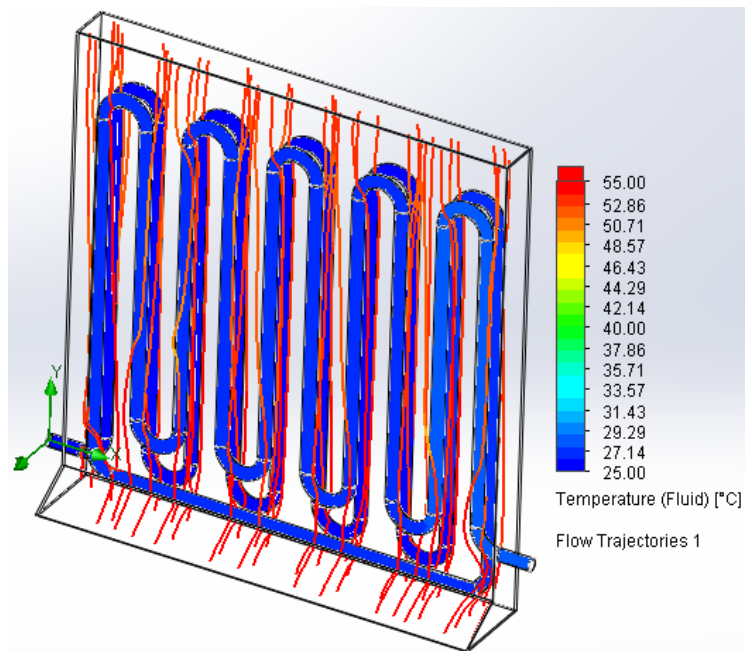


Figura 2. 27 Temperatura fluidos - Intercambiador 04

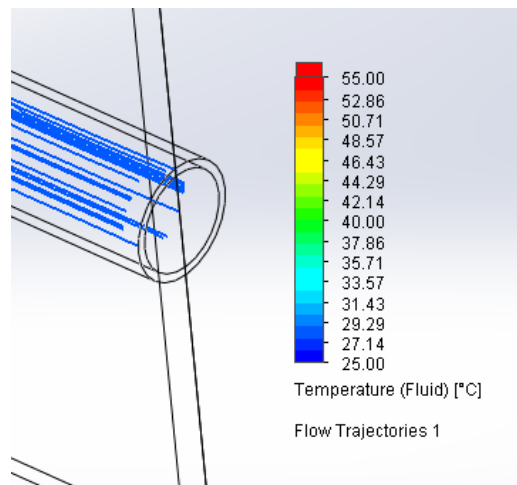


Figura 2. 28 Temperatura salida - Intercambiador 04

Local Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m ²]
Temperature (Fluid) [°C]	27.72	27.76	27.73	27.73	0.0002

Figura 2. 29 Temperatura agua de salida - Intercambiador 04

<i>Temperatura Salida Agua</i>				<i>Temperatura Entrada de Agua</i>	<i>Diferencia de temperatura</i>
	<i>Temperatura Mínima</i>	<i>Temperatura Máxima</i>	<i>Temperatura Promedio</i>		
<i>Intercambiador 01</i>	28,99 °C	29,07 °C	29,03 °C	25 °C	4 °C
<i>Intercambiador 02</i>	29,49 °C	29,53 °C	29,51 °C	25 °C	4,5 °C
<i>Intercambiador 03</i>	26,21 °C	26,27 °C	26,23 °C	25 °C	1,23 °C
<i>Intercambiador 04</i>	27,72 °C	27,76 °C	27,73 °C	25 °C	2,73 °C

Conclusiones Intercambiadores

El desarrollo de estos intercambiadores permite aprovechar el aire caliente expulsado por los compresores, el cual se expulsa en la atmosfera sin darle un uso, de esta forma se precalienta agua para luego llevarla a la temperatura final desea. Las distintas diferencias de temperatura que se observan entre los intercambiadores se dan debido a la longitud de cañerías que está compuesto cada intercambiador, las cuales constan de las siguientes medias:

- Intercambiador 01 : **18,3 m**
- Intercambiador 02 : **27,8 m**
- Intercambiador 03 : **7 m**
- Intercambiador 04: **14,4 m**

La mayor diferencia de temperatura se da en el intercambiador **02** el cual permite elevar la temperatura del agua uno 4,5 °C, esto representa un ahorro económico y energético ya que de esta forma elevamos la temperatura de una masa de agua de proceso sin la necesidad de utilizar una caldera y lo que su uso implica, como ser, consumo de combustible para calentar el agua que genera un gasto económico y la generación de CO₂ debido a la combustión para calentar el agua lo que implica un impacto negativo en el medioambiente.

En caso de implementar el intercambiador **02** calculamos el ahorro energético que representa, siendo:

❖ Q : flujo de calorías $[\frac{kcal}{h}]$

❖ $\dot{m}$: caudal masico $[\frac{kg}{h}]$

❖ C_p : Calor especifico del agua $[1 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C}]$

❖ Δt : varicion de temperatura del fluido a calentar, siendo $T_{final} - T_{inicial} [^\circ C]$

$$Q = \dot{m} * C_p * \Delta t$$

$$Q = \left(0,19 \frac{m^3}{h} * 1000 \frac{kg}{m^3}\right) * 1 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} * (29,5^\circ C - 25^\circ C)$$

$$Q = \left(190 \frac{kg}{h}\right) * 1 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} * 4,5^\circ C$$

$$Q = 855 \frac{kcal}{h} \text{ equivale a } 1kW$$

Esto nos permite un ahorro de 1kW por hora de proceso sin la necesidad de grandes inversiones en equipos e infraestructura, aprovechando un foco de calor como es la expulsión de aire caliente de un compresor.

2.2 Estado del arte de las Bombas de Calor Industriales

Kwikipump (KWIKOT) – Agua hasta 60°C

Las bombas de calor de la marca KWIKOT se caracterizan por calentar el agua hasta 60°C utilizando como fuente de extracción de calor el aire ambiente, el cual debe encontrarse a una temperatura entre -10°C a 48°C. Todos cuentan con descongelamiento inteligente y válvula de expansión electrónica.

- **HP-007 (7,0 kW)**

<i>Capacidad calorífica</i>	7,0 kW
<i>Consumo de energía</i>	1,9 kW
<i>Corriente eléctrica de trabajo</i>	8,6 A
<i>Caudal de agua de salida</i>	150 Lt/h
<i>Peso equipo</i>	58 kg
<i>Dimensiones</i>	885x360x600
<i>Nivel de ruido</i>	<50db (A)
<i>Tipo de conexión de agua</i>	G 3/4 "
<i>Refrigerante utilizado</i>	R407C
<i>Fuente de alimentación</i>	220V/50Hz
<i>Tipo de Compresor</i>	Rotativo
<i>Dirección de ventilador</i>	Horizontal
<i>Intercambiador de calor</i>	Carcasa de tubos
<i>Temperatura del agua de salida</i>	28-60°C
<i>Temperatura aire ambiente</i>	-10-43°C



Figura 2. 30 Kwikipump HP-007

▪ **HP-022 (22,8 kW)**

Capacidad calorífica	22,8 kW
Consumo de energía	5,7 kW
Corriente eléctrica de trabajo	10 A
Caudal de agua de salida	500 Lt/h
Peso equipo	156 kg
Dimensiones	820x690x1390
Nivel de ruido	<56db (A)
Tipo de conexión de agua	G 1 "
Refrigerante utilizado	R407C
Fuente de alimentación	380V/50Hz
Tipo de Compresor	Espiral
Dirección de ventilador	Vertical
Intercambiador de calor	Carcaza de tubos
Temperatura del agua de salida	28-60°C
Temperatura aire ambiente	-10-43°C



Figura 2. 31 Kwikpump HP-022

▪ **HP-091 (91,2 kW)**

Capacidad calorífica	91,2 kW
Consumo de energía	24 kW
Corriente eléctrica de trabajo	40 A
Caudal de agua de salida	2000 Lt/h
Peso equipo	650 kg
Dimensiones	2212x1072x2187
Nivel de ruido	<60db (A)
Tipo de conexión de agua	G 3 "
Refrigerante utilizado	R407C
Fuente de alimentación	380V/50Hz
Tipo de Compresor	Espiral
Dirección de ventilador	Vertical
Intercambiador de calor	Carcaza de tubos
Temperatura del agua de salida	28-60°C
Temperatura aire ambiente	-10-43°C



Figura 2. 32 Kwikpump HP-091

KÖNNEN W03H SERIES – Agua hasta 80°C



Figura 2. 33 Bomba de Calor KÖNNEN W03H SERIES

La bomba de calor KÖNNEN W03H SERIES esta opera con refrigerante R134a para baja presión, pero alta temperatura del agua, constituido con material de acero inoxidable AISI 304 para sujeciones de componentes, consta con intercambiador de calor de carcasa y tubos, intercambiador de calor coaxial o intercambiador de calor tipo placa como opciones de configuración. Está constituido por componentes de marcas mundialmente famosas tales como, válvulas de expansión electrónicas Saginomiya, válvulas de 4 vías SANHUA, contactores de CA Schneider. Material de cobre para las tuberías de agua.

Compresor espiral que permite un rango de operación amplio para diferentes temperaturas ambiente. Permiten la obtención de agua caliente hasta 80°C cumpliendo los requisitos para distintos usos industriales.



**Figura 2. 34 Compresor espiral
Copeland & Panasonic**



Figura 2. 35 Intercambiador de calor

Intercambiador de calor de tubo y carcasa con cuidado especial para protección de la presión. Compuesto por tubos de aletas de alta eficiencia cuya área de calentamiento es 3.6 veces mayor que los tubos lisos ordinarios, con un diseño de

vía de agua de mayor diámetro para que el flujo de agua sea suave, lo que proporciona una mayor eficiencia energética.

Alta capacidad de deshidratación, previene el deterioro del aceite, filtro de gran solidez, control de vibración en la carcasa de acero, para evitar fisuras que ocasionen pérdidas. Recubierto con pintura epoxi resistente a la corrosión.



**Figura 2. 36 Filtro secador
Danfoss o Emerson**

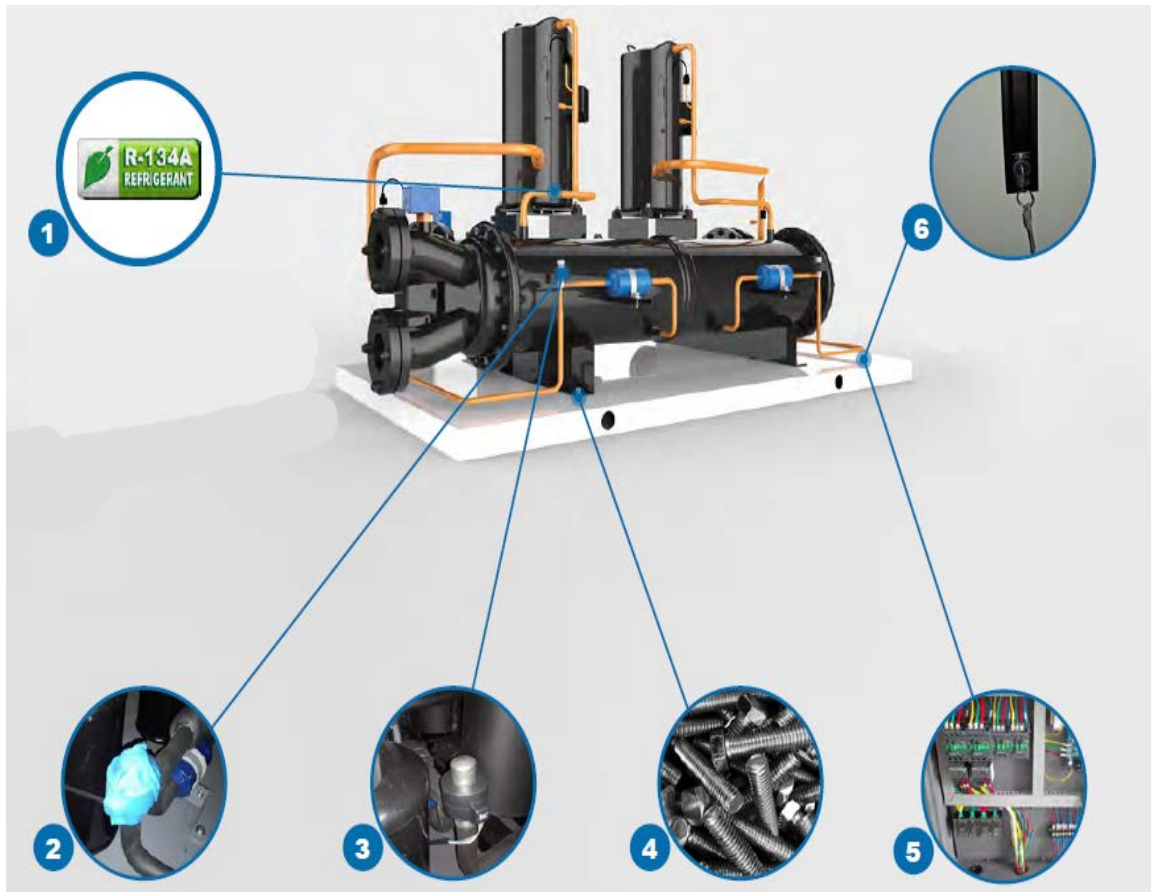


Figura 2. 37 Detalle Bomba de Calor Können

1. Refrigerante R134A, permite calentar agua a una temperatura máxima de 80°C
2. ya que trabaja con bajas presiones.
3. Protección de contracción térmica de PVC para válvula de expansión electrónica, lo cual alarga su vida útil.
4. Válvula de expansión electrónica, que ofrece alta precisión y cuenta con un ajuste de hasta 500 pasos, lo que permite ajustar con precisión los grados del sobre calentador y lograr un sistema de operación de alta eficiencia.
5. Acero inoxidable AISI 304 para todas las sujeciones y otras partes importantes que están expuestas a corrosión, permitiendo obtener una estructura más duradera.
6. Contactor y relé de CA Schneider, selección de capacidad 1,5 veces según la corriente de la bomba de calor, para garantizar un funcionamiento continuo y estable por mucho tiempo, aumentando su vida útil.

Ficha técnica en ANEXO B

	WH03Ps-W5	WH14P-W10	WH48P-W40
Capacidad calorífica nominal	8,5 kW	40 kW	132 kW
Potencia nominal	1,91 kW	8,97 kW	29,86 kW
Corriente Nominal	8,36 A	16,86 A	56,14 A
COP	4,46	4,46	4,42
Temperatura de agua suministrada	28-80°C	28-80°C	28-80°C
Fuente de alimentación	220V/50Hz	380V/50Hz	380V/50Hz
Compresor	Hermético espiral	Hermético espiral	Hermético Espiral
Refrigerante	R134A	R134A	R134A
Caudal de agua suministrado	1,5 m3/h	6,9 m3/h	22,7 m3/h
Nivel de ruido	<53 DB (A)	<62 DB (A)	<75 DB (A)
Dimensiones	810x420x590	1100x840x800	2800x1250x1350
Peso	68 kg	320 kg	1210 kg

SABRO HeatPAC 157 HR – Agua hasta 85°C

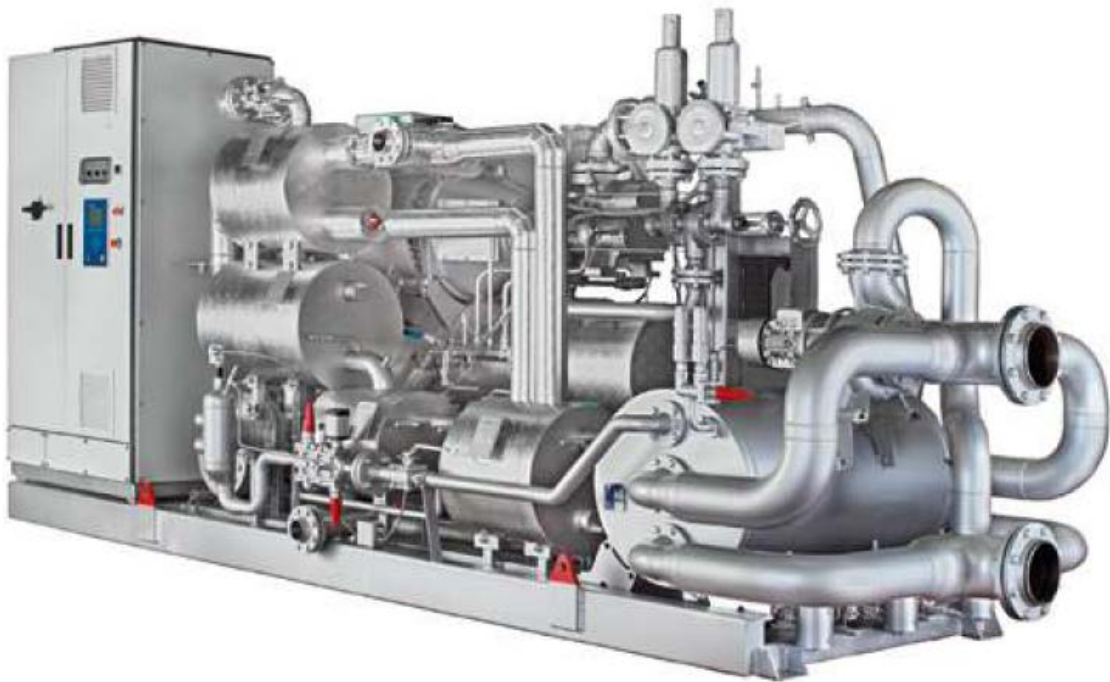


Figura 2. 38 Bomba de Calor SABRO HeatPAC 157HR

Esta bomba de calor consta de un compresor a tornillo que trabaja con amoniaco, con una capacidad hasta 1800kW. Es una bomba de calor diseñada para aprovechar de forma efectivas el calor residual a baja temperatura y convertirlo en agua caliente hasta 85°C, teniendo un bajo consumo de energía eléctrica.

HeatPAC 157 HR											
Cold side					Hot side						
	Temperature in	Temperature out	Flow	Cooling capacity		Temperature in	Temperature out	Flow	Heating capacity	Power motor	
	°C	°C	m³/h	kW		°C	°C	m³/h	kW	kW	COP
Water	40	35.9	300	1422	Water	40	85	34.8	1792	407	4.4
Water	30	26.8	300	1107	Water	40	85	28.2	1453	381	3.8
Water	20	17.6	300	818	Water	40	85	22.0	1121	335	3.3
Water	10	8.3	300	588	Water	40	85	16.5	852	290	2.9

Figura 2. 39 Valores de proceso

Mayekawa Eco Cute Unimo – Agua hasta 90°C



Figura 2. 40 Bomba de Calor Mayekawa Eco Cute Unimo

Esta bomba de calor tiene la capacidad de producir 35 toneladas de agua caliente cada 24 horas de funcionamiento, posee una diseño compacto facilitando su instalación.

Type		Heat pump type water heater					
Model		HE-HWA-2HTC					
Power supply		3-phase 400V AC 50Hz/60Hz					
Performance	Ambient temp.	16°C		25°C		7°C	
	Operation mode	*1		*4		*5	
		Energy-saving /normal	power	Energy-saving /normal	power	Energy-saving /normal	power
Hot water temp. (65°C)	Heating capacity (kW)	74.0	81.4	83.3	92.3	58.8	77.4
	Absorbed power (kW)	17.7	20.0	18.8	21.6	16.1	25.1
	COP	4.2	4.1	4.4	4.3	3.7	3.1
Hot water temp. (90°C)	Heating capacity (kW)	72.0	78.5	81.8	90.2	59.8	73.9
	Absorbed power (kW)	21.3	23.5	23.2	25.7	19.0	27.5
	COP	3.4	3.3	3.5	3.5	3.1	2.7
Keep temp. (ring back) capacitys	Heating capacity (kW)	41.3	45.7	47.9	52.2	29.8	46.1
	Absorbed power (kW)	22.8	25.4	23.7	26.3	20.0	31.7
	COP	1.8	1.8	2.0	2.0	1.5	1.5
Maximum current (A)		120					
Outer dimensions (mm)		W1,250 x L1,900 x H2,082					

Figura 2. 41 Ficha técnica 01 – Eco Cute Unimo

Weight (kg)		1,344(net) 1,359(operating)
Design pressure (MPa)		High pressure 15.0 MPa, Low pressure 6.4MPa
Japan legal refrigeration tons (TR)		9.8(notification required by KHK, no qualified person requirement)
Compressor	Motor	25kW x 4P
	Start-up method	Inverter
Gas cooler		copper tube coil
Pump (50Hz/60Hz) (W)		250/430
Air cooled heat exchanger	Material	Copper tube Aluminium plate fin
Fan (kW/unit)		0.75 x 2 unit
Defrosting system		Hot gas defrost
External connection	Water inlet 1	Rc 3/4 (20A tap female, SUS316) for tank
	Water inlet 2	Rc 3/4 (20A tap female, SUS316) for keep warm
	Hot water outlet	Rc 3/4 (20A tap female, SUS316)
	Drainage	Rc1-1/2(40A tap female, SUS316)
Refrigerant & Volume		R744 (CO ₂), 20kg
Protection equipment		Protection for high pressure, low pressure, oil pressure, compressor overload, fan overload
		Inlet overload, discharge temperature, differential pressure
Usage range	Inlet water temperature (°C)	5 to 65
	Max. inlet water flow rate (L/min)	33
	Inlet water pressure (MPa)	0.15-0.49(In the case of a sealed tank, below design pressure of the tank)
	Hot water temperature (°C)	65 or 90
	Ambient temperature (°C)	-10 to +43
Color	Panels	Munsell N8.0 approximating color
	Unit base	Munsell N1.0 approximating color
Noise	intermediary *3	62
	Winter *5	66

Figura 2. 42 Ficha técnica 02 – Eco Cute Unimo

Mitsubishi ETW-L – Agua hasta 90°C



Figura 2. 43 Bomba de Calor Mitsubishi ETW-L

Este equipo cuenta con la característica de brindar agua caliente y fría al mismo tiempo. Está constituido por un compresor centrífugo de dos etapas, además cuenta con la posibilidad de acoplar 6 equipos en simultaneo para aumentar la producción. Se caracteriza por su bajo costo de proceso y bajas emisiones de CO₂.

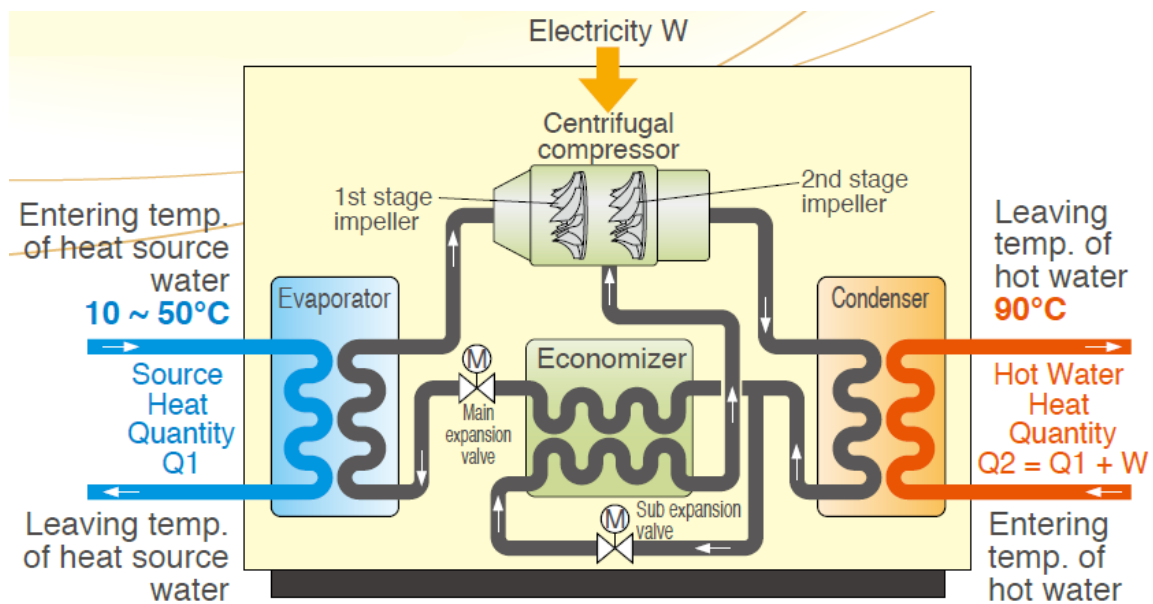


Figura 2. 44 Esquema Bomba de Calor Mitsubishi

Model			ETW-L		
Capacity	Heating capacity	kW	376	545	547
	Cooling capacity	kW	266	400	405
Dimensions	Length	m	1.55		
	Width	m	1.2		
	Height	m	2.065(including lifting Lug)		
Weights	Shipping weight	kg	2500		
	Operation weight	kg	2700		
	Lubrication oil		JOMO FREOL ALPHA 68B		
	Refrigerant		R134a		
	Retained water quantity	kg	102		
Electricity specification	Power source	V	400 V class (380-440 V), 50/60 Hz free		
	Starting current	A	Less than rated current value		
	Inverter capacity	kW	160		
Compressor	Model		MCM150L		
	Quantity		1		
	Motor output	kW	104	136	133
	Starting method		Soft starter by inverter		
Evaporator	Water side design pressure	MPa(G)	1.0		
	Entering temperature of heat source water	°C	15	35	50
	Leaving temperature of heat source water	°C	10	30	45
	Flow rate of heat source water	m ³ /h	44.3	69.3	72.9
	Nozzle size		100A		
	Pressure drop	kPa	18	43	48
	Drain/Vent size		15A/15A		
Condenser	Water side design pressure	MPa(G)	1.0		
	Entering temperature of hot water	°C	50	65	80
	Leaving temperature of hot water	°C	60	75	90
	Flow rate of hot water	m ³ /h	32.3	47.9	48.3
	Nozzle size		80A		
	Pressure drop	kPa	20	41	42
	Drain/Vent size		15A/15A		

Figura 2. 45 Ficha técnica Mitsubishi ETW-L

KOBELCO SGH120 – Vapor de agua hasta 120°C



Figura 2. 46 SGH120

El equipo KOBELCO SGH120 está compuesto por una bomba de calor y un tanque de expansión. La bomba de calor extrae calor de una fuente de agua a temperaturas entre 25-75°C y lo transfiere al agua de proceso circulante por esta misma. El tanque de expansión cumple la función, de permitir la expansión del agua presurizada, permitiendo que esta se expanda y se evapore, hasta una temperatura de vapor de 120°C.

El fluido de trabajo de la bomba de calor es R245fa debido a su alta temperatura crítica de 154°C, para el ciclo de la bomba de calor se utiliza un economizador de dos etapas con un intercambiador de calor interno para una mayor eficiencia. La bomba de calor opera con un compresor a tornillo de dos etapas que permite un amplio rango de compresión.

Esta máquina puede trabajar con las fluctuaciones de vapor, cuando la demanda y la presión de este disminuye, las tasas de flujo de suministro de vapor se reducen al disminuir la velocidad de rotación de ambos compresores, manteniendo la presión de vapor de descarga.

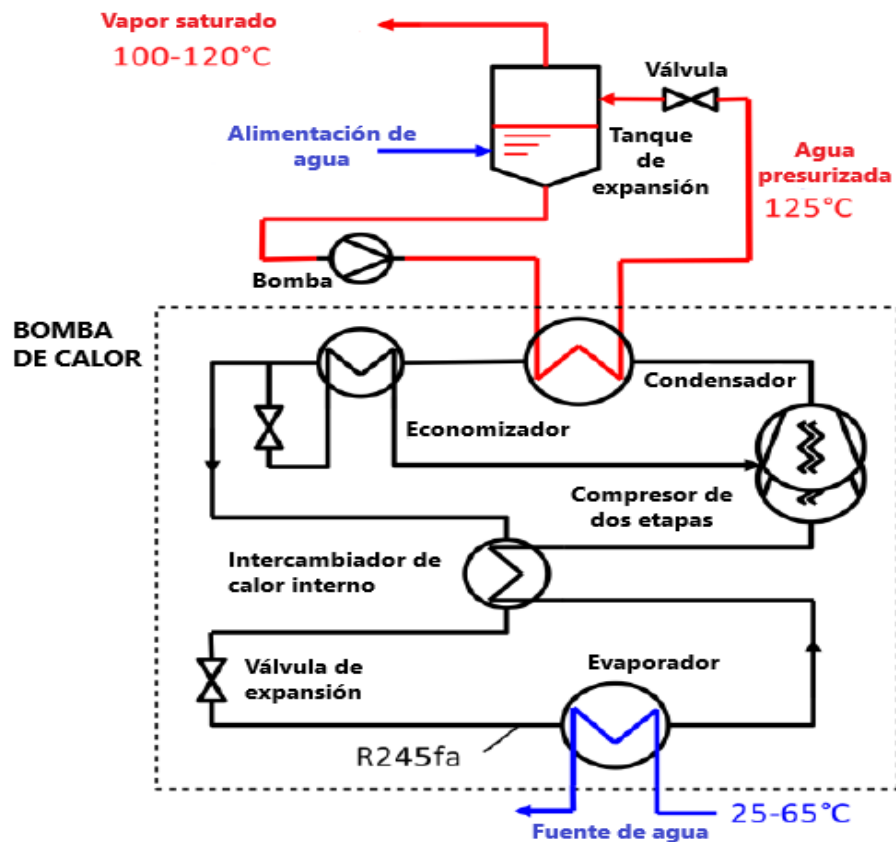


Figura 2. 47 Esquema KOBELCO SGH120

Ficha técnica

- Capacidad calorífica : **370 kW**
- Temperatura fuente de agua : **25-65°C**
- Vapor suministrado : **100-120°C**
- Alimentación de agua al compresor de vapor : **5-95°C**
- Caudal de vapor : **0.51 ton/h a 120°C** para un COP 3,5 con temperatura fuente de agua a 65°C
- Fluido de trabajo bomba de calor : **R245fa**
- Compresores a tornillo de dos etapas
- Vida útil equipo : **15 años**
- Peso equipo : **4250 kg**
- Área ocupable equipo : **6,6 m2**
- Se permite la configuración de trabajo de hasta 5 unidades para aumentar la producción de vapor, según requerimientos.

KOBELCO SGH165 – Vapor de agua hasta 175°C

Este equipo de la marca Kobelco es una combinación de dos unidades, una unidad



Figura 2. 48 SGH 165 unidad compresora de vapor (izquierda), bomba de calor (derecha)

compresora de vapor y una bomba de calor, esta combinación permite el reemplazo de una caldera de presión media. El modelo SGH165 se puede utilizar para diversos procesos, tales como: calefacción, secado, esterilización, destilación, etc.

La unidad de bomba de calor, extrae calor de una fuente de agua a temperaturas de entre 35-70°C y lo transfiere al agua de proceso circulante para calentarlo, luego esta para por un tanque de expansión para luego ser tratado por la unidad compresora de vapor, que genera vapor de agua saturada a 175°C.

Esta máquina puede trabajar con las fluctuaciones de vapor, cuando la demanda y la presión de este disminuye, las tasas de flujo de suministro de vapor se reducen al disminuir la velocidad de rotación de ambos compresores, manteniendo la presión de vapor de descarga.

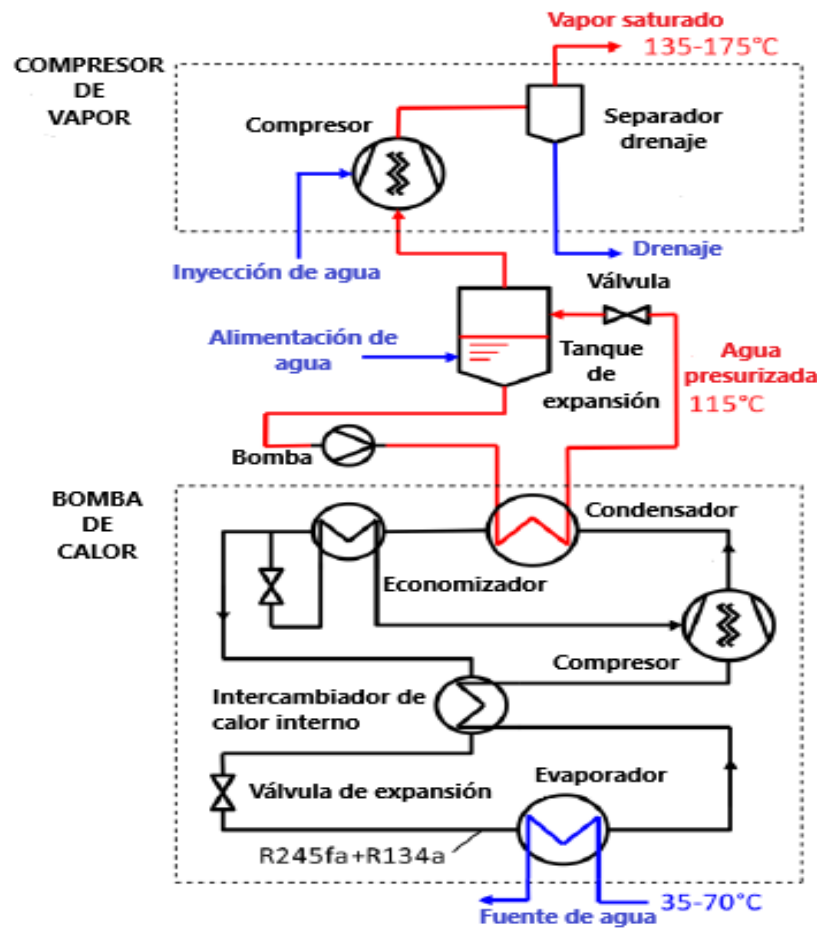


Figura 2. 49 Esquema KOBELCO SGH165

Ficha técnica

- Capacidad calorífica : **624 kW**
- Temperatura fuente de agua : **35-70°C**
- Vapor suministrado : **135-175°C**
- Alimentación de agua al compresor de vapor : **5-95°C**
- Caudal de vapor : **0.84 ton/h a 165°C** para un COP 2,5 con temperatura fuente de agua a 70°C
- Fluido de trabajo bomba de calor : **R245fa + R134a (mezcla)**
- Fluido de trabajo compresor de vapor : **R718**
- Compresores a tornillo
- Vida útil equipo : **15 años**
- Peso equipo : **7050 kg**
- Área ocupable equipo : **13,8 m2**

3. Análisis económico

Viabilidad Económica

- **Análisis de costos:** se desarrollarán los cálculos necesarios para obtener los costos económicos en dos casos de estudio, **CASO 01, se comparará los costos operativos de una bomba de calor contra una caldera**, y en el **CASO 02, se comparará un intercambiador de calor, para un compresor existente combinado con una bomba de calor, contra, una caldera**. Ambas comparaciones de cada caso se hacen bajo las mismas condiciones de trabajo, para evidenciar las diferencias entre los equipos y evaluar su viabilidad económica en su implementación.
- **Análisis de rentabilidad:** una vez desarrollado los costos operativos de cada caso, se evaluará la rentabilidad en la inversión de **una bomba de calor para el CASO 01** y **un intercambiador de calor para un compresor existente más una bomba de calor para el CASO 02**, que reemplazarán la utilización operativa de una caldera en ambos casos. Para abordar este apartado se utilizarán las variables tales como, período de recuperación de la inversión (Payback), valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). Se tomará el valor de la tasa de descuento del 10%.

Desarrollo de fórmulas para el cálculo de costos económicos

▪ Costo operativo bomba de calor

Para el desarrollo económico de una bomba de calor se realiza el siguiente análisis de fórmulas. Se conoce que:

$$COP_{bomba\ de\ calor} = \frac{1}{1 - \frac{QL}{QH}}$$

$$COP_{bomba\ de\ calor} = \frac{QH}{W_{motor}}$$

Siendo:

- ❖ QL : Cantidad de calor absorbido del foco de baja temperatura [kW]
- ❖ QH : Cantidad de calor absorbido del foco de alta temperatura [kW]
- ❖ $COP_{bomba\ de\ calor}$: Desempeño de la bomba de calor
- ❖ W_{motor} : Trabajo motor electrico de la bomba de calor [kW]

Desarrollando ambas formulas:

$$\frac{1}{1 - \frac{QL}{QH}} = \frac{QH}{W_{motor}}$$

$$\frac{1}{1 - \frac{QL}{QH}} = \frac{QH}{W_{motor}}$$

$$W_{bomba\ de\ calor} * 1 = QH * (1 - \frac{QL}{QH})$$

$$W_{bomba\ de\ calor} = QH * (1 - \frac{QL}{QH})$$

$$W_{motor} = QH - \frac{QL * QH}{QH}$$

$$W_{motor} = QH - QL$$

De esta forma se obtiene el trabajo que realiza el motor eléctrico el cual que multiplica por el valor económico de la energía para obtener los costos de funcionamiento de una bomba de calor, en la condiciones de trabajo dadas.

$$Costo\ electrico\ bomba\ de\ calor = W_{motor} * Costo_{energia\ electrica}$$

El $Costo_{energia\ electrica}$ se estima en $0,045 \frac{USD}{kW * h}$

▪ **Costo operativo caldera**

La energía requerida para calentar “x” cantidad de masa de agua viene dada por la siguiente formula:

$$Q = \dot{m} * Cp * \Delta t$$

Siendo

- ❖ Q : flujo de calorías que debe aportar el vapor de la caldera [$\frac{kcal}{h}$]
- ❖ $\dot{m}$: caudal masico [$\frac{kg}{h}$]
- ❖ Cp : Calor especifico del agua [$1 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}$]
- ❖ Δt : varicion de temperatura del fluido a calentar, siendo $T_{final} - T_{inicial}$ [$^\circ C$]

Se conoce como poder calorífico inferior, a la unidad de calor realmente aprovechable en el proceso de combustión, este valor no tiene en cuenta la condensación del agua y otros procesos de menor importancia. Por ende, el poder calorífico del gas natural es:

$$PCI = 8450 \frac{kcal}{Nm3 \text{ gas}}$$

Para una caldera con rendimiento 0,85 hay un consumo de:

$$78 \frac{Nm3 \text{ gas}}{ton \text{ vapor}}$$

Se conoce que el costo de producir una tonelada de vapor viene dado por la variable: $Costo_{vapor}$ que se estima en $17 \frac{USD}{ton \text{ vapor}}$

$$Costo \text{ energetico caldera} = Vapor_{necesario} * Costo_{vapor}$$

Con las fórmulas y costos estimados anteriormente se procederá a evaluar un caso real de los beneficios económicos en la implementación de una bomba de calor en un caso industrial.

Variables de rentabilidad

▪ VAN

El VAN es el acrónimo del Valor Actual Neto, también conocido como Valor Presente Neto (VPN). Es uno de los indicadores financieros para valorar y determinar la viabilidad y la rentabilidad de un proyecto de inversión. Se determina mediante la actualización de los flujos de gastos e ingresos futuros del proyecto, menos la inversión inicial. Si el resultado de esta operación es positivo, es decir, si refleja ganancia se puede decir que el proyecto es viable. De esta manera la empresa está en posición de evaluar desde el inicio y con proyección a futuro la viabilidad de su proyecto y los resultados de su inversión. El VAN permite conocer la posible rentabilidad a través de una fórmula matemática. En esta fórmula se utilizan los valores de los flujos de caja (ingresos y egresos de efectivo) actualizados a la fecha presente, descontándolos a una tasa de interés determinada. Y con sus resultados expresados en términos de unidades de valor monetario.

$$VAN = \frac{FN - I}{(1 + i)^n}$$

Donde:

- ❖ *FN : flujo de caja neto de cada año*
- ❖ *I : inversión inicial*
- ❖ *i : tasa de interes*
- ❖ *n : número de períodos*

Un proyecto será aceptado si la sumatoria de los flujos de fondos descontados a la tasa mínima aceptables supera el monto de la inversión.

La regla de decisión es:

Si $VAN > 0$ entonces el proyecto es aceptado.

Si $VAN < 0$ entonces el proyecto es rechazado.

Si $VAN = 0$ entonces el proyecto no dará ganancias ni perdidas, es indiferente.

▪ **TIR**

TIR o Tasa Interna de Retorno, se utiliza para analizar la viabilidad de un proyecto y determinar la tasa de beneficio o rentabilidad que se puede obtener de dicha inversión. Estrechamente ligado al VAN, el TIR también es definido como el valor de la tasa de descuento que iguala el VAN a cero, para un determinado proyecto de inversión. Su resultado viene expresado en valor porcentual. Es sumamente confiable cuando la empresa quiere determinar la rentabilidad y viabilidad de un proyecto de inversión. El TIR utiliza el flujo de caja neto proyectado y el monto de la inversión del proyecto, por lo tanto, el TIR es el porcentaje de beneficio o pérdida que se puede obtener de una inversión.

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0$$

Donde:

- ❖ *Fn : flujo de caja neto de cada año*
- ❖ *I : inversión inicial*
- ❖ *n : número de períodos*

Si TIR > 'Tasa de descuento' entonces el proyecto es aceptado.

Si TIR < 'Tasa de descuento' entonces el proyecto es rechazado.

Si TIR = 0 entonces el proyecto debe ser rechazado, no conviene asumir el riesgo financiero de invertir en él.

▪ **Periodo de recuperación de la inversión (Payback)**

Es el retorno de la inversión de un proyecto medido en el tiempo. Desde un punto de vista técnico, el payback representa el tiempo que transcurre desde que los flujos de caja netos acumulados por esa inversión se igualan al valor total de la inversión. La utilidad del payback se justifica por la necesidad de conocer cuándo va a comenzar a ser rentable una determinada inversión.

Caso 01: Suministro agua a 60°C Bomba de calor-Mitsubishi ETW-L

Análisis de costos

En este apartado realizaremos la comparación económica entre la utilización de una caldera y una bomba de calor para el calentamiento de agua a 60 °C para el proceso de remoción de plumas en una planta avícola.

Datos de bomba de calor Mitsubishi ETW-L

- ❖ Cantidad de calor absorbido del foco de alta temperatura $Q_H = 376 \text{ kW}$
- ❖ Cantidad de calor absorbido del foco de baja temperatura $Q_L = 266 \text{ Kw}$
- ❖ Caudal de agua caliente = 32,3 m³/h
- ❖ Temperatura de agua de entrada 50°C
- ❖ Temperatura agua caliente de salida 60°C
- ❖ Horas de trabajo anuales: 6700 horas

▪ **Costo operativo Mitsubishi ETW-L**

Para obtener el consumo del motor se procede:

$$W_{motor} = Q_H - Q_L$$

$$W_{motor} = 376 \text{ kW} - 266 \text{ kW}$$

$$W_{motor} = 110 \text{ kW}$$

El COP del equipo es de:

$$COP_{bomba \text{ de calor}} = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}}$$

$$COP_{bomba \text{ de calor}} = \frac{1}{1 - \frac{266 \text{ kW}}{376 \text{ kW}}}$$

$$COP_{bomba \text{ de calor}} = 3,42$$

La mayoría de las bombas de calor tienen un $COP_{Bomba\ de\ calor}$ promedio de entre 2 y 3. Por lo tanto el valor obtenido para la bomba de calor Mitsubishi ETW-L es más que aceptable.

Sabemos que consume 110kW para producir 32,3 m³/h de agua a 60°C, teniendo un costo de energía eléctrica de 0,045 USD/kWh, tenemos que:

$$\text{Costo electrico bomba de calor} = W_{motor} * \text{Costo}_{energia\ electrica}$$

$$\text{Costo electrico bomba de calor} = 110kW * 0,045 \frac{USD}{kWh}$$

$$\text{Costo electrico bomba de calor} = 4,95 \frac{USD}{h}$$

▪ **Costo operativo caldera a reemplazar**

Datos operativos caldera

- ❖ Caudal de agua caliente = 32,3 m³/h
- ❖ Temperatura de agua de entrada 50°C
- ❖ Temperatura agua caliente de salida 60°C
- ❖ Horas de trabajo anuales: 6700 horas

Procedemos a calcular el flujo de calorías requeridas para elevar 10°C el agua de proceso.

$$Q = \dot{m} * Cp * \Delta t$$

$$Q = \left(32,3 \frac{m^3}{h} * 1000 \frac{kg}{m^3} \right) * 1 \frac{kcal}{kg\ ^\circ C} * (60^\circ C - 50^\circ C)$$

$$Q = \left(32300 \frac{kg}{h} \right) * 1 \frac{kcal}{kg\ ^\circ C} * 10^\circ C$$

$$Q = 323000 \frac{kcal}{h}$$

Para obtener esa calorías por hora en una caldera se procede a calcular:

$$Q_{caldera}: \text{calorias por ton de vapor generada en la caldera} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{ton vapor}} \right]$$

$$Q_{caldera} = PCI * 78 \frac{\text{Nm}^3}{\text{ton vapor}}$$

$$Q_{caldera} = 8450 \frac{\text{kcal}}{\text{Nm}^3 \text{ gas}} * 78 \frac{\text{Nm}^3}{\text{ton vapor}}$$

$$Q_{caldera} = 659100 \frac{\text{kcal}}{\text{ton vapor}}$$

Siendo el rendimiento de la caldera de 0,85 se recalcula las kcal requeridas:

$$Q_{caldera \text{ generadas}} = 659100 \frac{\text{kcal}}{\text{ton vapor}} * 0,85$$

$$Q_{caldera \text{ generadas}} = 560235 \frac{\text{kcal}}{\text{ton vapor}}$$

Se requieren 323000 kcal/h para producir un caudal de agua a 60°C, por lo tanto, se puede obtener las toneladas de vapor necesarias.

$$\text{Vapor necesario} = \frac{323000 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{560235 \frac{\text{kcal}}{\text{ton vapor}}}$$

$$\text{Vapor necesario} = 323000 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ ton vapor}}{560235 \text{ kcal}}$$

$$\text{Vapor necesario} = 0,58 \frac{\text{ton vapor}}{\text{h}}$$

Conociendo el costo de la tonelada de vapor en 17 USD/ton vapor, obtenemos el costo por hora de calentar el agua de 50°C a 60°C con la caldera:

$$\text{Costo energetico caldera} = \text{Vapor}_{\text{necesario}} * \text{Costo}_{\text{vapor}}$$

$$\text{Costo energetico caldera} = 0,58 \frac{\text{ton vapor}}{h} * 17 \frac{\text{USD}}{\text{ton vapor}}$$

$$\text{Costo energetico caldera} = 9,86 \frac{\text{USD}}{h}$$

▪ **Diferencia de costos operativos**

Una vez obtenidos los costos operativos de ambos equipos, se procede a ver la diferencia de estos valores, para cuantificar el ahorro y poder realizar el análisis de rentabilidad.

$$\text{Ahorro por hora} = \text{Costo energetico caldera} - \text{Costo electrico bomba de calor}$$

$$\text{Ahorro por hora} = 9,86 \frac{\text{USD}}{h} - 4,95 \frac{\text{USD}}{h}$$

$$\text{Ahorro por hora} = 4,91 \frac{\text{USD}}{h}$$

$$\text{Ahorro anual} = \text{Costo energetico caldera} * h_{\text{anuales}} - \text{Costo electrico bomba de calor} * h_{\text{anuales}}$$

$$\text{Ahorro anual} = 9,86 \frac{\text{USD}}{h} * 6700 h - 4,95 \frac{\text{USD}}{h} * 6700 h$$

$$\text{Ahorro anual} = 32.897 \text{ USD anuales}$$

Análisis de rentabilidad

Una vez obtenida la diferencia de costos operativos, se procede a realizar el cálculo de las variables tales como VAN, TIR y Payback.

El costo de inversión de la bomba de calor Mitsubishi ETW-L, con su compra e instalación ronda los 75.000 USD, en base a este dato se procede a realizar los cálculos correspondientes.

Horas de trabajo anuales	6.700,00	horas
Ahorro por hora	4,91	USD
Ahorro anual	32.897,00	USD
Costo de inversion	75.000,00	USD

Tabla 1 - Datos

A continuación, se realiza una evaluación de flujo de dinero por periodo, el año 0 consta de la inversión inicial, por ello su valor es negativo, luego los próximos periodos de tiempo corresponden a la suma del periodo anterior más el ahorro anual que genera la bomba de calor.

Período	Flujo neto de dinero
0	-USD 75.000
1	-USD 42.103
2	-USD 9.206
3	USD 23.691
4	USD 32.897
5	USD 32.897
6	USD 32.897
7	USD 32.897
8	USD 32.897
9	USD 32.897
10	USD 32.897

Tabla 2 – Flujo de dinero por periodo

Con los datos obtenidos en la tabla de flujo de dinero por periodo, se realizan los cálculos para obtener VAN, TIR y Payback. Se toma una tasa de retorno de descuento:

Tasa de descuento		10%
--------------------------	--	-----

R
e
s
u
l
t
a
d
o

↓

TIR	12,62%	Rentable
VAN	17.243,53	Ganancia
Payback	2,28	Años

Tabla 3 - Variables de rentabilidad

- Al ser el TIR mayor que la tasa de descuento el proyecto es rentable
- Al ser el VAN positivo, el proyecto va a dar ganancias
- Al ser el Payback igual a 2,28 años, se considera un periodo de tiempo más que aceptable para recuperar la inversión inicial.

Dado estos valores podemos afirmar que la inversión de la bomba de calor Mitsubishi ETW-L es viable económicamente, la cual permite recuperar la inversión a partir de los 2,28 años de iniciada su etapa operativa en el proceso.

Análisis ambiental

En este apartado se detalla el ahorro en emisiones de CO₂, al reemplazar el uso de la caldera por la bomba de calor. Se procede a calcular:

Producto	mol/100 moles GN	Peso/mol	Peso/100 moles GN
CO ₂	105,94	44	4661,36
H ₂ O	201,39	18	3625,05
O ₂	20,5	32	656
N ₂	847	28	<u>23.716</u>

Figura 3. 1 Gases de producto de la combustión de gas natural

Siendo el peso molecular del gas natural igual a:

$$\text{Peso molecular Gas Natural} = 17,73 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}$$

Los gramos generados de CO₂ por la combustión de gas natural viene dado por:

$$\text{Cantidad CO}_2 \text{ generada} = \frac{4661,36 \text{ gr CO}_2}{100 \text{ mol Gas Natural}} * \frac{1 \text{ mol Gas Natural}}{17,73 \text{ gr Gas Natural}}$$

$$\text{Cantidad CO}_2 \text{ generada} = 2,63 \frac{\text{gr CO}_2}{\text{gr Gas Natural}}$$

Se conoce que:

$$78 \text{ Nm}^3 \text{ Gas Natural} - \text{generan} \rightarrow 1000 \text{ kg vapor}$$

$$\mathbf{45,24 \text{ Nm}^3 \text{ Gas Natural}} - \text{generan} \rightarrow 580 \text{ kg vapor}$$

En nuestro caso de estudio se generan 580kg de vapor con 45,24 Nm³ de Gas Natural por hora. En base a este análisis, obtenemos que:

$$\text{Kg Gas Natural por hora} : 45,24 \frac{\text{Nm}^3 \text{ Gas Natural}}{\text{h}} * \text{densidad Gas Natural}$$

$$\text{Kg Gas Natural por hora} : 45,24 \frac{\text{Nm}^3 \text{ Gas Natural}}{\text{h}} * 0,737 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Kg \text{ Gas Natural por hora} : 33,34 \frac{kg \text{ Gas Natural}}{h} = 33340 \frac{gr \text{ Gas Natural}}{h}$$

El funcionamiento de nuestra caldera para elevar 10°C la temperatura del agua de proceso genera una emisión de CO2 a la atmosfera de:

$$Emision \text{ CO2 por hora} : 33340 \frac{gr \text{ Gas Natural}}{h} * 2,63 \frac{gr \text{ CO2}}{gr \text{ Gas Natural}}$$

$$Emision \text{ CO2 por hora} : 87684,2 \frac{gr \text{ CO2}}{h} = 87,68 \frac{Kg \text{ CO2}}{h}$$

Contando las horas operativas anuales nos da una emisión anual de CO2 de:

$$Emision \text{ CO2 anual} : 87,68 \frac{Kg \text{ CO2}}{h} * 6700 \text{ horas}$$

$$Emision \text{ CO2 anual} : 587456 \text{ Kg CO2}$$

Equipo	Unidad	Caldera	Bomba de Calor Mitsubishi
<i>Caudal agua a 60 °C</i>	m3/h	32,3	32,3
<i>Tiempo de producción anual</i>	horas	6700	6700
<i>Consumo de Gas Natural</i>	Nm3/h	45,24	0
<i>Consumo electrico anual</i>	kW	0	737000
<i>Generacion anual de CO2</i>	Kg	587456	0
<i>Costo por hora de produccion</i>	USD/h	9,86	4,91
<i>Costo anual de produccion</i>	USD	66062	32897

Figura 3. 2 Comparación cuantitativa de equipos

Conclusión del caso

En el análisis de costos se obtuvo una diferencia significativa en los costos operativos de ambos equipos, siendo más económica la implementación de la bomba de calor. En el análisis de rentabilidad se obtuvo que la inversión resulta ser rentable, debido a que las variables de rentabilidad dieron resultados favorables. Y por último en un análisis ambiental se observa una reducción significativa en las emisiones de CO2. Por lo tanto, se puede concluir que el proyecto es viable en todos sus aspectos de estudio, resultando en una excelente inversión redituable tanto es aspectos económicos como ecológicos.

Caso 02: Bomba de calor – Intercambiador compresor

En este caso de estudio se evalúa la combinación de una bomba de calor con un compresor de aire existente de la marca CompAir modelo L55 al cual solamente se le adicionara un intercambiador de calor aceite-agua de la misma marca del fabricante del compresor, con el fin de aprovechar ese foco de calor, evitando la utilización de una caldera a gas natural, con el fin de obtener agua a 65°C para proceso.

Datos de rendimiento
Los datos se basan en una temperatura de entrada de 25 °C.

Modelo		L55		L75		L95
Caudal de agua	litro/h	2064	822	2796	1116	3499
Temperatura de salida	°C	45	75	45	75	45
Ahorro de energía	kW	47,8	47,8	64,8	64,8	80,6

Figura 3. 3 Intercambiador Compresor CompAir L55

Adquiriendo el intercambiador de calor para el compresor de aire CompAir L55 obtenemos un caudal de agua de 2064 Litros/h que equivale a 2 m³/h a una temperatura de 45°C

Mencionado intercambiador se combinará con una bomba de calor de la marca Mayekawa modelo Eco Cute Unimo (aerotérmico), el cual cumple con las siguientes características:

- ❖ Cantidad de calor absorbido del foco de alta temperatura QH = 83,3 kW
- ❖ Caudal de agua caliente = 33 Litros/min equivalen a 2 m³/h aproximadamente
- ❖ Temperatura de agua de entrada 45°C
- ❖ Temperatura de agua de salida 65°C
- ❖ COP : 4,4
- ❖ Consumo motor eléctrico : 18,8 kW
- ❖ Temperatura ambiente de trabajo 25 °C

Análisis de costos

▪ Costo operativo Mayekawa Eco Cute Unimo

Esta bomba de calor debe calentar un flujo de agua de 2 m³/h de 45°C a 65°C, para ello calcularemos el consumo eléctrico de la misma, para obtener los costos operativos.

Para calentar dicha masa de agua se necesita, cierta cantidad de kcal/h, esa cantidad viene dada por:

$$QH \text{ necesario} = \dot{m} * C_p * \Delta t$$

$$QH \text{ necesario} = \left(2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * (65^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C})$$

$$QH \text{ necesario} = \left(2000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * 20^\circ\text{C}$$

$$QH \text{ necesario} = 40000 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = 46,52 \text{ kW}$$

Sabiendo que el COP del equipo equivale a 4,4 y ya conociendo QH necesario para calentar la masa de agua necesario, obtenemos el consumo eléctrico del equipo.

$$COP_{\text{bomba de calor}} = \frac{QH \text{ necesario}}{W_{\text{motor}}}$$

$$4,4 = \frac{46,52 \text{ kW}}{W_{\text{motor}}}$$

$$W_{\text{motor}} = \frac{46,52 \text{ kW}}{4,4}$$

$$W_{\text{motor}} = 10,57 \text{ kW}$$

Sabemos que consume 10,57kW para producir 2 m³/h de agua a 65°C, teniendo un costo de energía eléctrica de 0,045 USD/kWh, tenemos que:

$$\text{Costo electrico bomba de calor} = W_{\text{motor}} * \text{Costo}_{\text{energia electrica}}$$

$$\text{Costo electrico bomba de calor} = 10,57kW * 0,045 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo electrico bomba de calor} = 0,48 \frac{\text{USD}}{\text{h}}$$

- **Costo operativo Caldera a reemplazar**

Datos operativos caldera

- ❖ Caudal de agua caliente = 2 m³/h
- ❖ Temperatura de agua de entrada 25°C
- ❖ Temperatura agua caliente de salida 65°C
- ❖ Hora anuales de trabajo : 7000 h

Procedemos a calcular el flujo de calorías requeridas para elevar 40°C el agua de proceso.

$$Q = \dot{m} * Cp * \Delta t$$

$$Q = \left(2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (65^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})$$

$$Q = \left(2000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * 40^\circ\text{C}$$

$$Q = 80000 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Para obtener esa calorías por hora en una caldera se procede a calcular:

$$Q_{caldera}: \text{calorias por ton de vapor generada en la caldera} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{ton vapor}} \right]$$

$$Q_{caldera} = PCI * 78 \frac{\text{Nm}^3}{\text{ton vapor}}$$

$$Q_{caldera} = 8450 \frac{\text{kcal}}{\text{Nm}^3 \text{ gas}} * 78 \frac{\text{Nm}^3}{\text{ton vapor}}$$

$$Q_{caldera} = 659100 \frac{\text{kcal}}{\text{ton vapor}}$$

Siendo el rendimiento de la caldera de 0,85 se recalcula las kcal requeridas:

$$Q_{caldera \text{ generadas}} = 659100 \frac{\text{kcal}}{\text{ton vapor}} * 0,85$$

$$Q_{caldera \text{ generadas}} = 560235 \frac{\text{kcal}}{\text{ton vapor}}$$

Se requieren 323000 kcal/h para producir un caudal de agua a 60°C, por lo tanto, se puede obtener las toneladas de vapor necesarias.

$$\text{Vapor necesario} = \frac{80000 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{560235 \frac{\text{kcal}}{\text{ton vapor}}}$$

$$\text{Vapor necesario} = 80000 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ ton vapor}}{560235 \text{ kcal}}$$

$$\text{Vapor necesario} = 0,14 \frac{\text{ton vapor}}{\text{h}}$$

Conociendo el costo de la tonelada de vapor en 17 USD/ton vapor, obtenemos el costo por hora de calentar el agua de 25°C a 65°C con la caldera:

$$\text{Costo energetico caldera} = \text{Vapor}_{\text{necesario}} * \text{Costo}_{\text{vapor}}$$

$$\text{Costo energetico caldera} = 0,14 \frac{\text{ton vapor}}{h} * 17 \frac{\text{USD}}{\text{ton vapor}}$$

$$\text{Costo energetico caldera} = 2,38 \frac{\text{USD}}{h}$$

▪ Diferencia de costos operativos

Una vez obtenidos los costos operativos de ambos equipos, se procede a ver la diferencia de estos valores, para cuantificar el ahorro y poder realizar el análisis de rentabilidad.

$$\text{Ahorro por hora} = \text{Costo energetico caldera} - \text{Costo electrico bomba de calor}$$

$$\text{Ahorro por hora} = 2,38 \frac{\text{USD}}{h} - 0,48 \frac{\text{USD}}{h}$$

$$\text{Ahorro por hora} = 1,9 \frac{\text{USD}}{h}$$

$$\text{Ahorro anual} = \text{Costo energetico caldera} * h_{\text{anuales}} - \text{Costo electrico bomba de calor} * h_{\text{anuales}}$$

$$\text{Ahorro anual} = 2,38 \frac{\text{USD}}{h} * 7000 h - 0,48 \frac{\text{USD}}{h} * 7000 h$$

$$\text{Ahorro anual} = 13300 \text{ USD anuales}$$

Análisis de rentabilidad

Una vez obtenida la diferencia de costos operativos, se procede a realizar el cálculo de las variables tales como VAN, TIR y Payback.

El costo de inversión de la bomba de calor Mayekawa Eco Cute Unimo más el intercambiador de calor para el compresor de aire CompAir L55, con su compra e instalación ronda los 30.000 USD, en base a este dato se procede a realizar los cálculos correspondientes.

Horas de trabajo anuales	7.000,00	horas
Ahorro por hora	1,90	USD
Ahorro anual	13.300,00	USD
Costo de inversion	30.000,00	USD

Tabla 4 - Datos

A continuación, se realiza una evaluación de flujo de dinero por periodo, el año 0 consta de la inversión inicial, por ello su valor es negativo, luego los próximos periodos de tiempo corresponden a la suma del periodo anterior más el ahorro anual que genera la bomba de calor.

Período	Flujo neto de dinero
0	-USD 30.000
1	-USD 16.700
2	-USD 3.400
3	USD 9.900
4	USD 13.300
5	USD 13.300
6	USD 13.300
7	USD 13.300
8	USD 13.300
9	USD 13.300
10	USD 13.300

Tabla 5 - Flujo de dinero por período

Con los datos obtenidos en la tabla de flujo de dinero por periodo, se realizan los cálculos para obtener VAN, TIR y Payback. Se toma una tasa de retorno de descuento:

Tasa de descuento	10%
--------------------------	-----



TIR	13,08%	Rentable
VAN	8.093,89	Ganancia
Payback	2,26	Años

Tabla 6 Variables de rentabilidad

- Al ser el TIR mayor que la tasa de descuento el proyecto es rentable
- Al ser el VAN positivo, el proyecto va a dar ganancias
- Al ser el Payback igual a 2,26 años, se considera un periodo de tiempo más que aceptable para recuperar la inversión inicial.

Dado estos valores podemos afirmar que la inversión de la bomba de calor Mayekawa Eco Cuno Unimo más el intercambiador de calor para el compresor CompAir L55 es viable económicamente, la cual permite recuperar la inversión a partir de los 2,26 años de iniciada su etapa operativa en el proceso.

Análisis ambiental

En este apartado se detalla el ahorro en emisiones de CO₂, al reemplazar el uso de la caldera por la bomba de calor. Se procede a calcular:

Producto	mol/100 moles GN	Peso/mol	Peso/100 moles GN
CO ₂	105,94	44	4661,36
H ₂ O	201,39	18	3625,05
O ₂	20,5	32	656
N ₂	847	28	<u>23.716</u>

Figura 3. 4 Gases de producto de la combustión de gas natural

Siendo el peso molecular del gas natural igual a:

$$\text{Peso molecular Gas Natural} = 17,73 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}$$

Los gramos generados de CO₂ por la combustión de gas natural viene dado por:

$$\text{Cantidad CO}_2 \text{ generada} = \frac{4661,36 \text{ gr CO}_2}{100 \text{ mol Gas Natural}} * \frac{1 \text{ mol Gas Natural}}{17,73 \text{ gr Gas Natural}}$$

$$\text{Cantidad CO}_2 \text{ generada} = 2,63 \frac{\text{gr CO}_2}{\text{gr Gas Natural}}$$

Se conoce que:

$$78 \text{ Nm}^3 \text{ Gas Natural} - \text{generan} \rightarrow 1000 \text{ kg vapor}$$

$$\mathbf{10,92 \text{ Nm}^3 \text{ Gas Natural} - \text{generan} \rightarrow 140 \text{ kg vapor}}$$

En nuestro caso de estudio se generan 580kg de vapor con 45,24 Nm³ de Gas Natural por hora. En base a este análisis, obtenemos que:

$$\text{Kg Gas Natural por hora} : 10,92 \frac{\text{Nm}^3 \text{ Gas Natural}}{\text{h}} * \text{densidad Gas Natural}$$

$$\text{Kg Gas Natural por hora} : 10,92 \frac{\text{Nm}^3 \text{ Gas Natural}}{\text{h}} * 0,737 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Kg \text{ Gas Natural por hora} : 8,05 \frac{kg \text{ Gas Natural}}{h} = 8050 \frac{gr \text{ Gas Natural}}{h}$$

El funcionamiento de nuestra caldera para elevar 40°C la temperatura del agua de proceso genera una emisión de CO2 a la atmosfera de:

$$Emision \text{ CO2 por hora} : 8050 \frac{gr \text{ Gas Natural}}{h} * 2,63 \frac{gr \text{ CO2}}{gr \text{ Gas Natural}}$$

$$Emision \text{ CO2 por hora} : 21172 \frac{gr \text{ CO2}}{h} = 21,17 \frac{Kg \text{ CO2}}{h}$$

Contando las horas operativas anuales nos da una emisión anual de CO2 de:

$$Emision \text{ CO2 anual} : 21,17 \frac{Kg \text{ CO2}}{h} * 7000 \text{ horas}$$

$$Emision \text{ CO2 anual} : 148190 \text{ Kg CO2}$$

Equipo	Unidad	Caldera	Bomba de Calor Intercambiador Compresor
Caudal agua a 65 °C	m3/h	2	2
Tiempo de producción anual	horas	7000	7000
Consumo de Gas Natural	Nm3/h	45,24	0
Consumo electrico anual	kW	0	73990
Generacion anual de CO2	Kg	148190	0
Costo por hora de produccion	USD/h	2,38	0,48
Costo anual de produccion	USD	16660	3360

Figura 3. 5 Comparación cuantificativa de equipos

Conclusión del caso

Los tres análisis de costos, rentabilidad y ambiental fueron favorables para implementar el uso del intercambiador de calor del compresor CompAir L55 combinado con la bomba de calor Mayekawa Eco Cute Unimo, con esta combinación de equipos logramos reemplazar completamente la utilización de la caldera a gas natural para este proceso productivo. Este análisis de caso sirve tanto para evaluar un reemplazo de una caldera a gas natural o definir si invertir en la compra de una caldera o la combinación de estos dos equipos (bomba de calor e intercambiador de calor de compresor) para un proceso productivo con estos requerimientos planteados.

4. Impacto Energético - Ambiental

La idea de la incorporación de la bomba de calor en la industria, radica en reemplazar las calderas a gas en los procesos que se necesiten calentar fluidos aprovechando los foco de calor residual en una industria. De esta forma se aumenta la eficiencia energética y se reduce la huella de carbono que generan los gases de escape de una caldera.

4.1 Descarbonización

La descarbonización consiste en un proceso de reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) sobre la atmosfera. El objetivo a cumplir se basa en una economía global con niveles bajos de emisiones de dióxido de carbono hacia la atmosfera.

El motivo para el cual se busca reducir las emisiones, son las consecuencias que trae su presencia en altos niveles en la atmosfera terrestre, las cuales son:

- El CO_2 causa la retención de calor en la atmosfera, por ende, generan un aumento de la temperatura. Este fenómeno se conoce como efecto invernadero.
- Aceleración y aumento de las variaciones climáticas naturales.

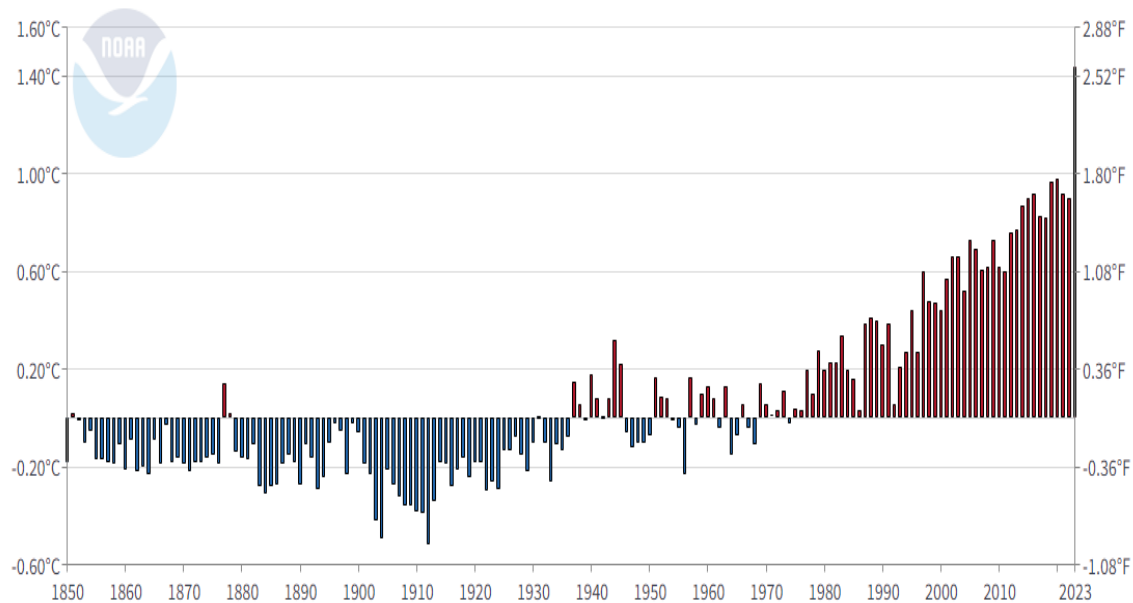
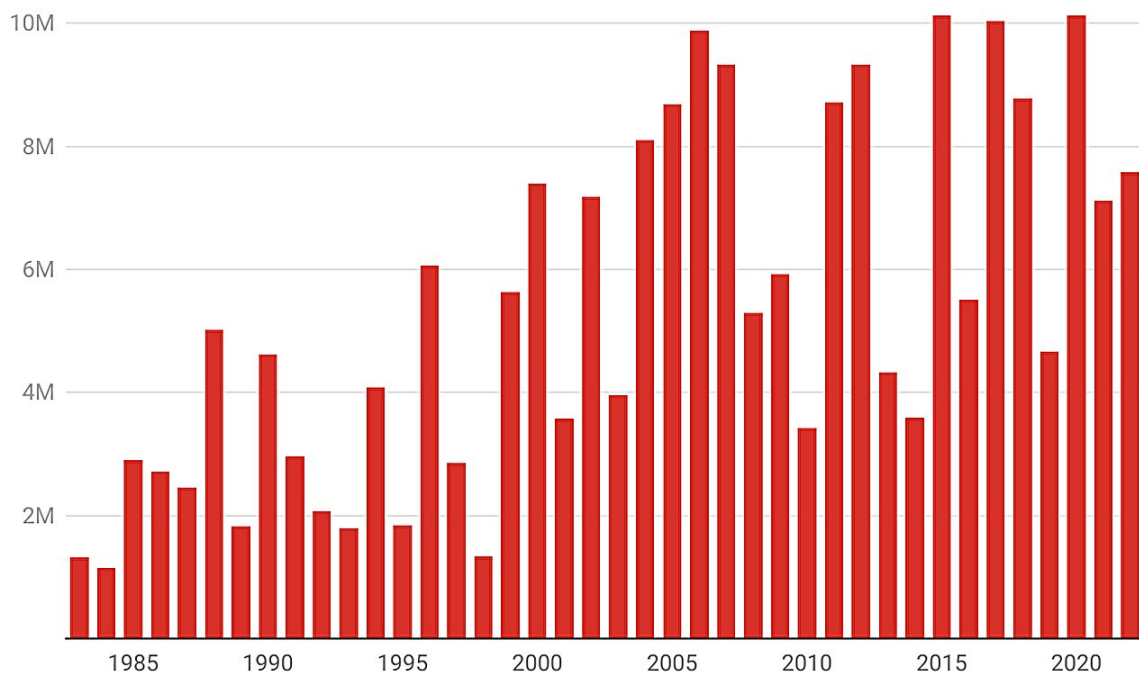


Figura 4. 1 Variación Temperatura Global - National Oceanic and Atmospheric Administration

- Aumento de fenómenos naturales extremos, tales como huracanes, tornados, tormentas fuertes, olas de calor, derretimiento de glaciares
- Incremento de incendios, debido a las altas temperaturas, perdiendo de esta forma grandes extensiones de zonas forestadas y aumentando los niveles de CO₂ debido a la combustión de la vegetación.

Wildfire burn area is increasing in the US

Since 1983, when federal agencies began using the current method of tracking wildfires, the annual number of acres burned in the U.S. has trended upward, with more high-severity fires.



2004 fires and acres do not include state lands for North Carolina.

Chart: The Conversation/CC-BY-ND • Source: National Interagency Coordination Center • Created with Datawrapper

Figura 4. 2 Incendios Forestales Registrados en EEUU

- Sequías por altas temperaturas, lo que conlleva a una pérdida de cultivos y ganados perjudicando al desarrollo y bien estar de los seres humanos
- Migración de humanos y especies animales producto de las altas temperaturas en sus hábitat.
- Incremento de la acidificación de las aguas, lo que ocasiona un impacto a la biodiversidad

Además, el CO₂, es el gas de efecto invernadero que tiene mayor incidencia en nuestro planeta, por lo tanto, la descarbonización plantea reducir su generación para a su vez reducir los impactos que este genera.

Estas emisiones de efecto invernadero son consecuencia de la actividad humana, tales como la combustión de carbón, gas y petróleo; deforestación y agricultura, las cuales contribuyeron en un aumento de 1,1 °C la temperatura media del planeta a principios del siglo XX.



Figura 4. 3 Gases de efecto invernadero

Dentro de los principales emisores de gases de efecto invernadero se encuentra Argentina, si bien no ocupa los primeros puestos, forma parte de este grupo. Lo cual no es un dato menor y hay que sumarle importancia para el desarrollo sostenible de nuestro territorio.

Argentina debe implicarse en este tema, ya que cuenta con reservas naturales tales como Parque Nacional Esteros del Iberá, Los Glaciares, etc. Vastas extensiones de tierra abocadas a la agricultura, grandes reservas de agua dulce, los cuales se ven afectados por el cambio climático, esto se observa por la sequía en estos dos últimos años 2022-2023 que no solo afectaron a la agricultura sino a la biodiversidad y el bien estar de los ciudadanos.

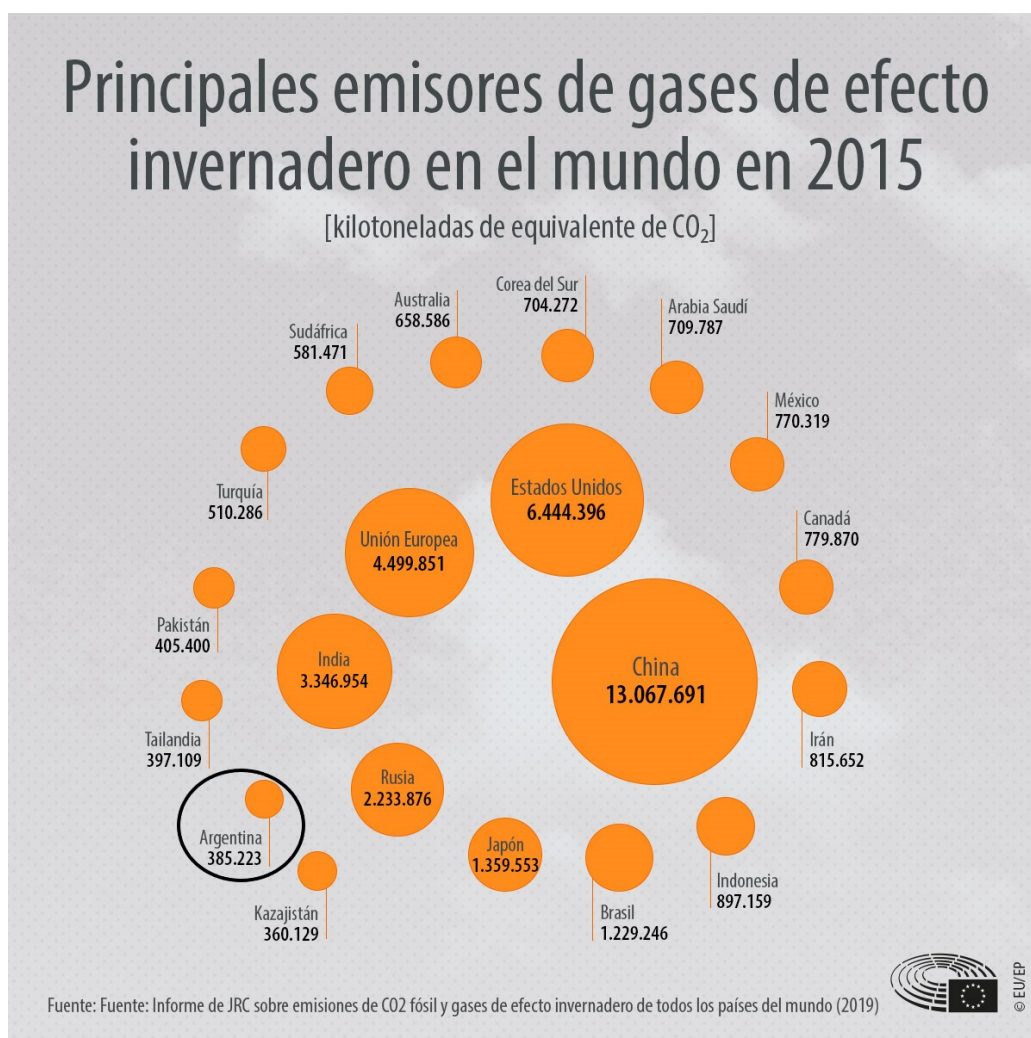
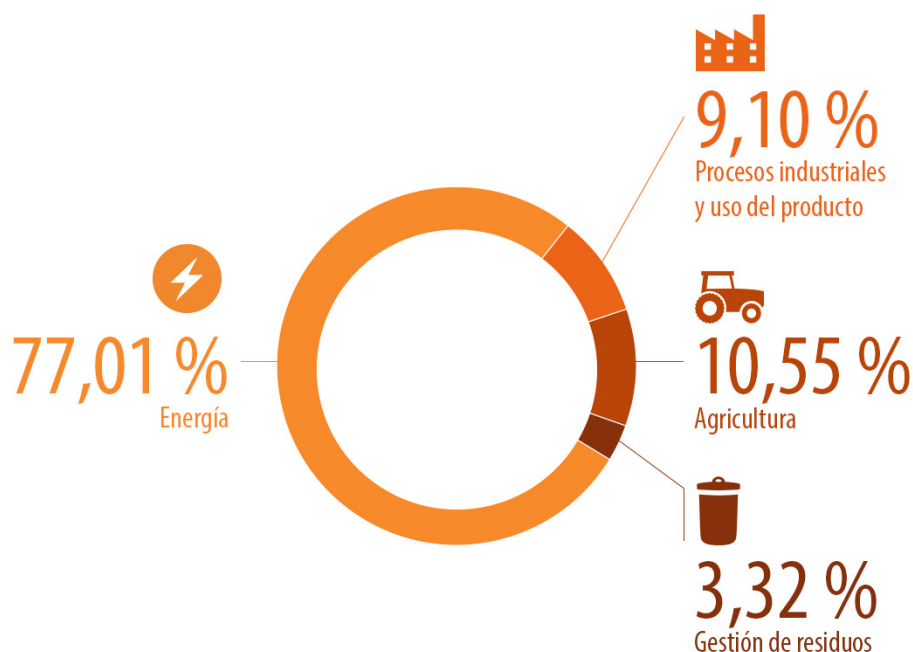


Figura 4. 4 Kilotoneladas CO₂ por país

4.2 Eficiencia energética

Otro aspecto a tener en cuenta es el consumo eléctrico que va a tener la bomba de calor, recordemos que el compresor de esta es accionado por un motor eléctrico. Si bien lográramos reemplazar una caldera por una bomba de calor, de esta forma evitamos la emisiones de CO₂ a la atmosfera producto de los gases de combustión de la caldera, debemos evitar una eficiencia energética baja, ya que estaremos consumiendo mucha energía, lo que implica que está en su punto de generación produzca más gases de efecto invernadero. En otras palabras, que una bomba de calor requiera un alto consumo de energía eléctrica implica el origen de esta, ya sea por una mediante una usina eléctrica

Emisiones de gases de efecto invernadero en la UE por sector* en 2019



*Todos los sectores excluyendo el uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura
El porcentaje no llega al 100% por el redondeo de las cifras

Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA)



Figura 4. 5 Generación de gases de efecto invernadero

que utilice gas, carbón o fuel oil requiera un mayor consumo de estos por ende más emisiones de CO₂ en la atmosfera.

Como podemos ver en la **Figura 2.5** la mayor cantidad de gases de efecto invernadero proviene de la generación de energía eléctrica, por lo tanto, es de vital importancia utilizar equipos de alta eficiencia energética para reducir drásticamente el consumo, y transicionar a una generación de energía eléctrica renovable y amigable con el medioambiente.

4.3 Pacto Verde Europeo

Este consta de un paquete de iniciativas políticas que buscan situar a la Unión Europea hacia una transición ecológica, con el fin de alcanzar la neutralidad climática en el 2050. Este paquete de medidas abarca el clima, el medio ambiente, la energía, el transporte, la industria, la agricultura y las finanzas sostenibles. Estas medidas tienen 8 puntos centrales a desarrollar:

1. Neutralidad climática para 2050

Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en un 55% respecto de los niveles de 1990, para el año 2030. Es un cambio de paradigma en el comportamiento de los consumidores como las empresas, se basa en un cambio tarifario y una fiscalización alineada con los objetivos climáticos, también se prevé medidas que eviten la fuga de emisiones, esto quiere decir, fuga de empresas a países menos restrictivos con las emisiones. Para las empresas esto significa que deben intensificar sus recursos en la sustitución de fuentes energéticas y de materiales provenientes de combustibles fósiles por fuentes renovables. También jugarán un papel muy importante la implantación de tecnologías super eficientes y el uso de las herramientas de compensación de las emisiones emitidas, buscando la neutralidad en sus balances de huellas de carbono.

2. Suministro de energía limpia, asequible y segura

Siendo el consumo energético en todos los sectores, la principal fuente de emisiones vinculadas al cambio climático, se debe garantizar que el suministro y la generación energética se base en energías limpias y autóctonas debe ser primordial.

Para 2030 todos los países miembros de la comunidad europea deben actualizar sus planes nacionales de energía y clima para reflejar el nuevo nivel de ambición climática. Para 2050 Europa tendrá cero emisiones netas de gases de efecto invernadero, todas las emisiones que no se hayan eliminado se absorberán a través de sumideros naturales de carbono y tecnologías de captura y almacenamiento de carbono.

3. Una industria sostenible y circular

Este elemento afecta directamente a toda la actividad industrial desarrollada en Europa, que debe enfrentarse a los retos del exceso de uso de materias primas no renovables, limitadas y no autóctonas y del impacto local y global de la sobre generación de residuos de productos y envases.

Para ello se aplicará la económica circular que pretende cerrar el ciclo de los materiales de fabricación de productos en la cadena de valor, buscando eliminar las practicas industriales tales como la obsolescencia programada y fomentar el “derecho a la reparación” utilizando materias primas secundarias a partir de los subproductos y residuos industriales. De esta forma se busca reducir la dependencia de los recursos no renovables.

4. Eficiencia en el uso energético y de los recursos en la construcción y renovación de edificios

El consumo energético en la edificación (actualmente supone el 40% de la energía consumida) representa uno de los grandes retos para la reducción de emisiones en Europa. Se necesita una renovación de edificios públicos y privados que permita reutilizar el territorio ya ocupado por los edificios actuales y garantizar una alta eficiencia energética para la climatización.

5. *Movilidad sostenible e inteligente*

El transporte por carretera representó casi el 72% de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al transporte de mercancías y pasajeros, por lo que garantizar un mayor uso del transporte en ferrocarril y vías navegables interiores es prioritario.

La principal incentivación a la producción y uso de combustibles alternativos y sostenibles para el transporte será la desaparición de las subvenciones a los combustibles fósiles. La industria automovilística y aeronáutica deberá trabajar en ofrecer al mercado vehículos y buques de emisión cero y de baja emisión. Estos nuevos modelos tendrán una gran demanda especialmente en zonas urbanas y grandes ciudades donde el acceso de vehículos de altas emisiones será muy restringido.

6. *“De la granja a la mesa” con alimentos sanos de circuitos cortos*

Este programa pretende garantizar que la producción de alimentos europea reduzca radicalmente la contaminación generada en suelo, agua y aire, y a la vez eliminar el desperdicio alimentario que supone un derroche de recursos y un importante problema de gestión de residuos orgánicos y de envases. Grandes retos que suponen nuevas oportunidades para todos los operadores de la cadena de valor alimentaria.

7. *Preservación y restablecimiento de los ecosistemas y biodiversidad*

Se establecerán claros objetivos para la reparación de ecosistemas dañados y restablecer su buen estado ecológico, así como aquellos que permitan hacer más ecológicas las ciudades e incrementar la biodiversidad en los espacios urbanos, lo que permitirá preservar y recuperar el capital natural de Europa. Esta línea podrá impulsar definitivamente la bioeconomía europea y creará nuevas oportunidades para la industria vinculada a la silvicultura, forestación y reforestación sostenible, agricultura y ecosistemas urbanos.

8. La eliminación total de sustancias tóxicas

Son medidas vinculadas a la eliminación total de sustancias tóxicas que afectan el aire, el agua y el suelo, estas permitirán restablecer las funciones naturales de las aguas subterráneas y superficiales, eliminando los micro plásticos, sustancias químicas derivados de medicamentos o de la escorrentía urbana, de esta forma se busca lograr un aire más puro y garantizará un entorno sin sustancias tóxicas. En este caso, las oportunidades empresariales estarán detrás del desarrollo de alternativas más sostenibles a las actuales a través de la innovación química para un entorno libre de toxicidad.

4.4 Conclusión

La bomba de calor aplicada en la industria cumple con los siguientes puntos anteriormente detallados:

Descarbonización: es una máquina térmica que no genera gases de efecto invernadero, lo que su utilización implica una reducción de los mismos de la atmósfera.

Eficiencia Energética: busca reemplazar a las calderas para procesos de calentamiento de fluidos industriales, generando una mayor eficiencia energética que estos. Buscan utilizar el menor consumo de energía eléctrica posible.

Pacto Verde Europeo: cumple con los siguientes puntos **1.** Contribuye a la neutralidad climática para 2050 sin generar gases de efecto invernadero **2.** Por su alta eficiencia energética no requiere grandes demandas de energía **3.** No genera residuos industriales **7.** Al no generar gases de efecto invernadero ni residuos industriales contribuye a la preservación del ecosistema y biodiversidad **8.** Su funcionamiento no genera sustancias tóxicas para el medioambiente.

5. Conclusiones

A lo largo del desarrollo de este proyecto se pudo conocer los principios de funcionamientos y componentes de una bomba de calor que llevan a cabo su funcionamiento, resulta en una tecnología innovadora, la cual hace un gran énfasis en la cuestión ambiental, en cuya implementación operativa no genera emisiones de CO₂ como si lo hace su principal competidor, la caldera. Como se pudo evaluar en el capítulo 4, este equipo cumple con varios puntos del pacto verde europeo, lo cual lo hace una tecnología a motivar más su uso y desarrollarla tecnológicamente para una mayor eficiencia, de esta forma en un futuro poder reemplazar operativamente a las calderas, reduciendo a 0 las emisiones de CO₂ de muchos procesos productivos.

No solo es una tecnología amigable con el medioambiente, sino es más económica que la utilización de una caldera, reduciendo los costos de producción, y haciendo viable su inversión para el desarrollo productivo de una empresa.

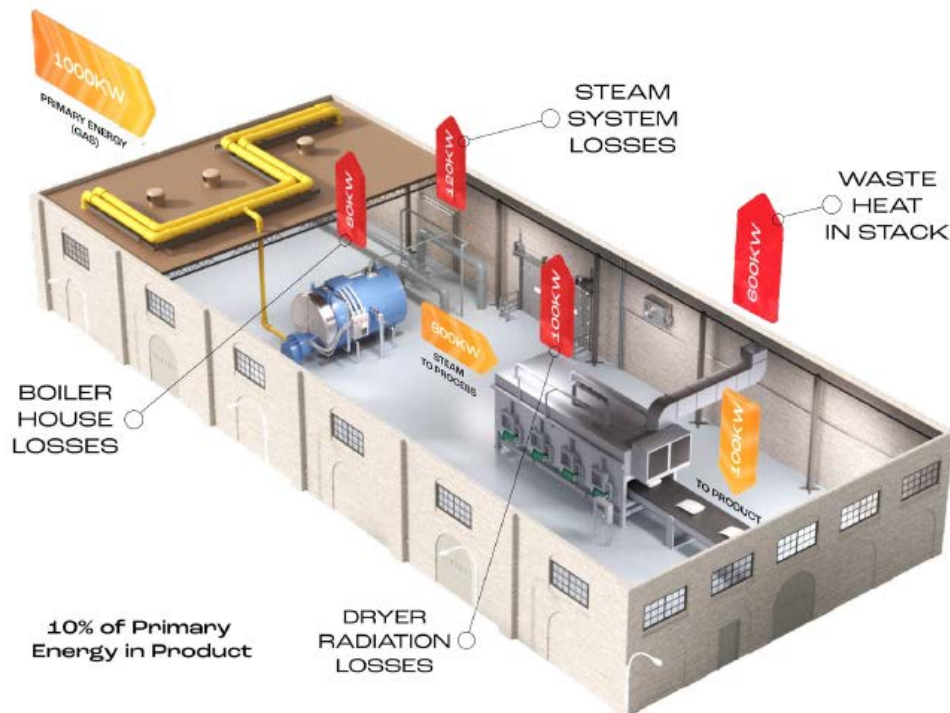


Figura 5. 1 Proceso productivo utilizando una caldera

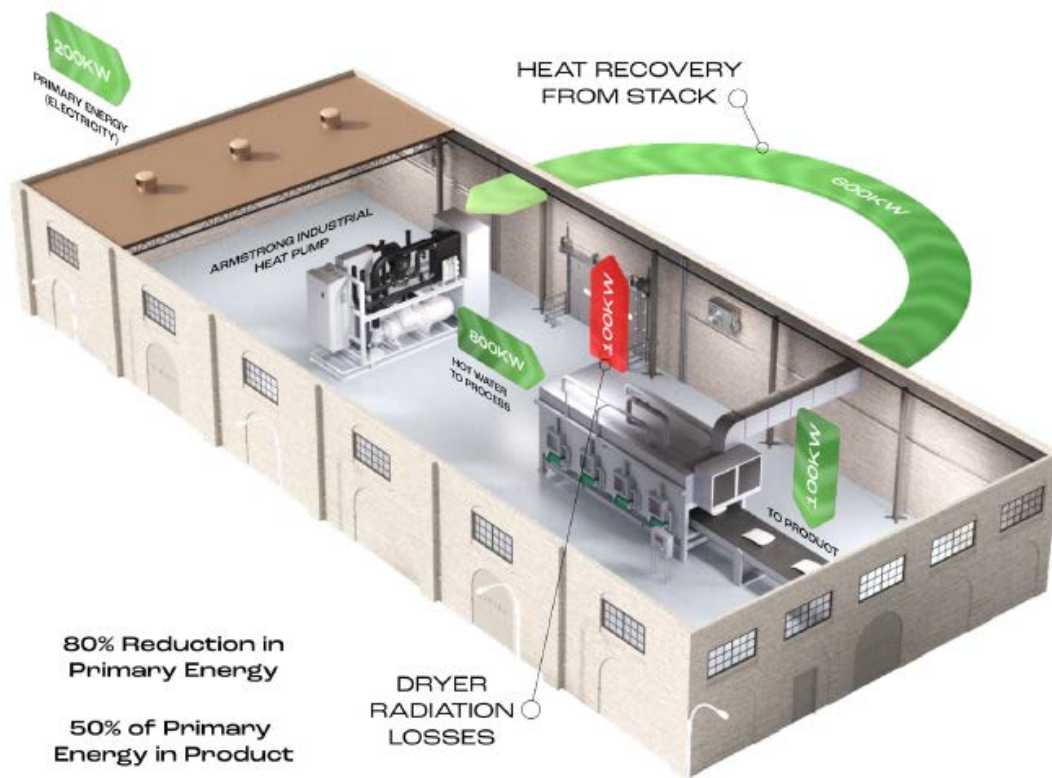


Figura 5. 2 Proceso productivo utilizando una Bomba de calor

Además, esta tecnología hace hincapié en el aprovechamiento de los focos de calor que se generan en un proceso productivo. De esta manera evitamos pérdida de calor hacia el medioambiente, la cual no se aprovecha, por ende, retroalimentando al proceso en sí mismo, bajando los consumos y reduciendo los costos productivos. Por ello es muy importante identificar los focos de calor en los procesos de una industria y encontrar la manera de redireccionarlos hacia la cadena productiva aumentando la eficiencia energética de nuestro proceso productivo. Un claro ejemplo de ello son los intercambiadores de calor de los compresores de aire, los cuales aprovechan el calor que su funcionamiento emana a la atmosfera para calentar un fluido de proceso.

La implementación de esta tecnología en Argentina permitirá una reducción significativa en las emisiones de CO₂, aumentará la eficiencia energética de los procesos productivos en las empresas aprovechando los focos de calor existentes y permitirá un ahorro económico reduciendo los costos operativos.

6. Bibliografía

1. **Grassi, Walter.** *Heat Pumps Fundamentals and Applications*. Pisa : Springer, 2018.
2. *Circular Thermal - How to put waste heat back into industrial process and beyond.* **Armstrong.** 2023.
3. **Cengel, Yunes a.** *Termodinámica*. s.l. : Mc Graw Hill, 2012. ISBN 978-607-15-0743-3.
4. *Heat Pumps - Tecnology Guide.* **Sustainable Energy Authority of Ireland.** Dublin : s.n.
5. *High-Temperature Heat Pumps.* **Heat Pump Centre.** Boras, Sweden : s.n., 2023. ISBN 978-91-89921-34-7.
6. *Industrial Heat Pumps in Switzerland - Application Potentials and Case Studies.* **Swiss Federal Office of Energy.** Bern : s.n., 2020.
7. *Industrial Heat Pumps for Steam and Fuel Saving.* **U.S Department of Energy.** Washington, DC : s.n.
8. **ESEficiencia.** [Online] <https://www.eseficiencia.es/2021/09/16/proyecto-dryefficiency-aumenta-eficiencia-energetica-industria-bombas-calor-alta-temperatura>.
9. **CAMMESA.** [Online] <https://cammesaweb.cammesa.com/>.
10. **SIEMENS energy.** [Online] <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product-offerings/heat-pumps.html>.
11. **aspiration energy.** [Online] <https://aspirationenergy.com/what-are-heat-pumps-and-where-can-you-deploy-them-efficiently/>.
12. **Europeo, Parlamento.** [Online] <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20180301STO98928/emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-por-pais-y-sector-infografia>.

-
13. National Centers for Environmental Information. [Online] <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/climate-at-a-glance/global/time-series>.
 14. KAESER. [Online] <https://kaesertalk.com.ar/2021/04/22/por-que-optar-por-la-recuperacion-del-calor/>.
 15. Comp Air. [Online] <https://www.compair.com/es-es/air-treatment-and-accessories/heat-recovery-lubricated>.
 16. Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies. [Online] <https://heatpumpingtechnologies.org/annex58/wp-content/uploads/sites/70/2022/07/technologykobelcosgh120-1.pdf>.
 17. KWIKOT. [Online] <https://www.kwikot.com/product-category/heat-pumps/?sub=Industrial+Heat+Pumps>.
 18. KÖNNEN. [Online] <https://www.konnen-heatpump.com/Product-Detials/High-temperature-water-source-heat-pump-3233>.
 19. Mitsubishi Heavy Industries. [Online] <http://mitsubishivrf.net/katalog/mitsubishi-heavy-industries-etw-sudan-suya-isi-pompasi.pdf>.

7.ANEXO A –Planos

Plano N°01 – Intercambiador 01

Plano N°02 – Intercambiador 02

Plano N°03 – Intercambiador 03

Plano N°04 – Intercambiador 04

Plano N°05 – Maqueta 3D – Caso 01

Plano N°06 – Lay Out – Caso 01

Plano N°07 – Dimensiones y Montaje Bomba de calor Mitsubishi ETW

Plano N°08 – Vista Planta – Caso 01

Plano N°09 – Vista Lateral – Caso 01

Plano N°10 – Vista Trasera – Caso 01

Plano N°11 – Disposición Equipos – Caso 01

Plano N°12 – Isométrico Tuberías – Caso 01

Plano N°13 – Maqueta 3D – Caso 02

Plano N°14 – Lay Out – Caso 02

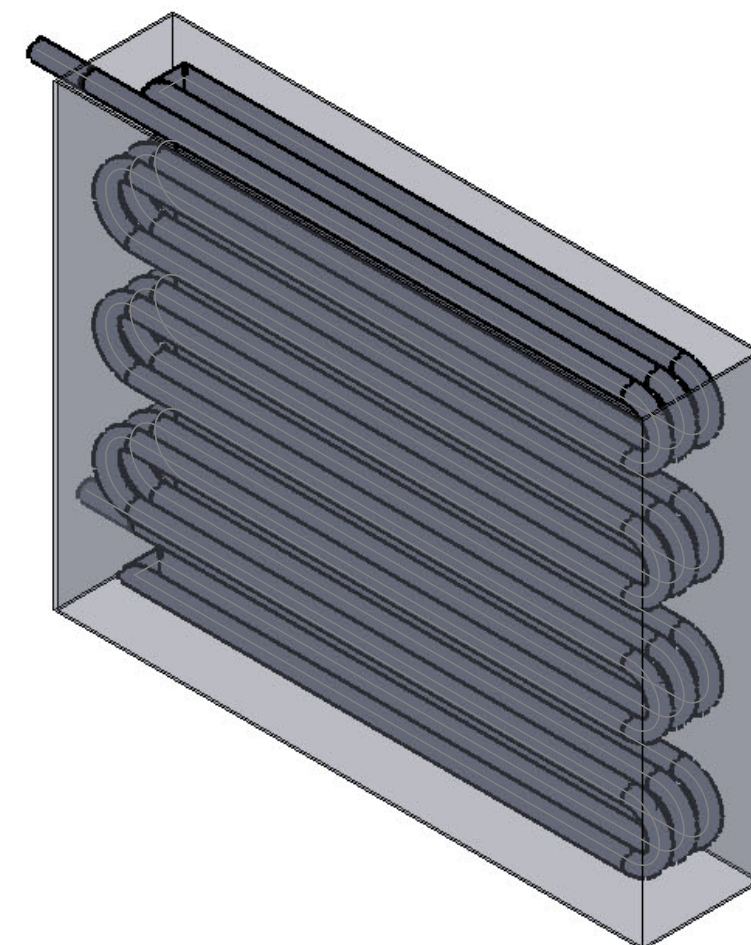
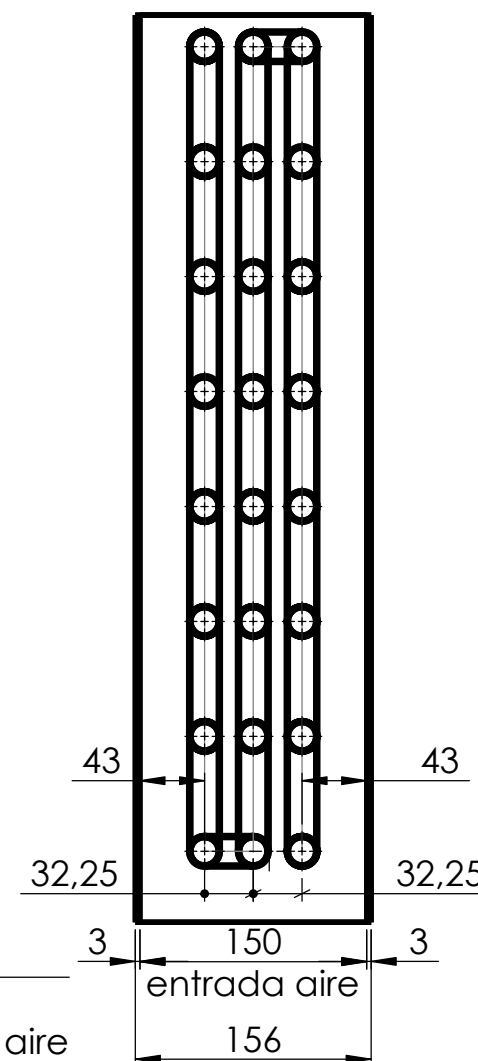
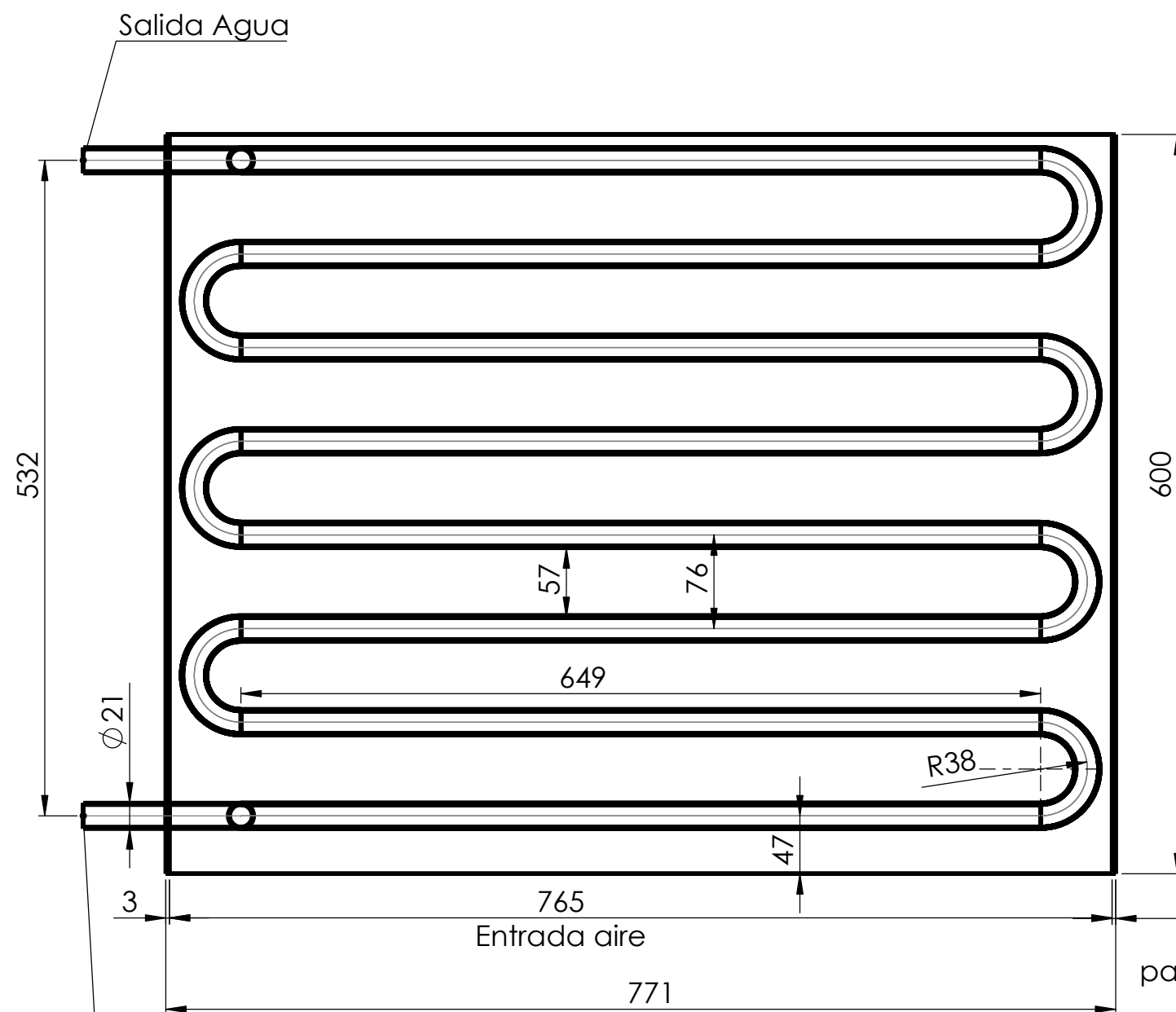
Plano N°15 – Vista Planta – Caso 02

Plano N°16 – Vista Lateral – Caso 02

Plano N°17 – Vista Trasera – Caso 02

Plano N°18 – Disposición Equipos – Caso 02

Plano N°19 – Isométrico Tuberías – Caso 02



Cañería de Agua : **18,3m**

Entrada Agua

SIGULIN Rodrigo
Legajo: S-4969/7

Rosario - Santa Fe - Argentina

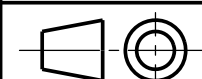


Plano N° 01

Material:
AISI 304

Cantidad: 01

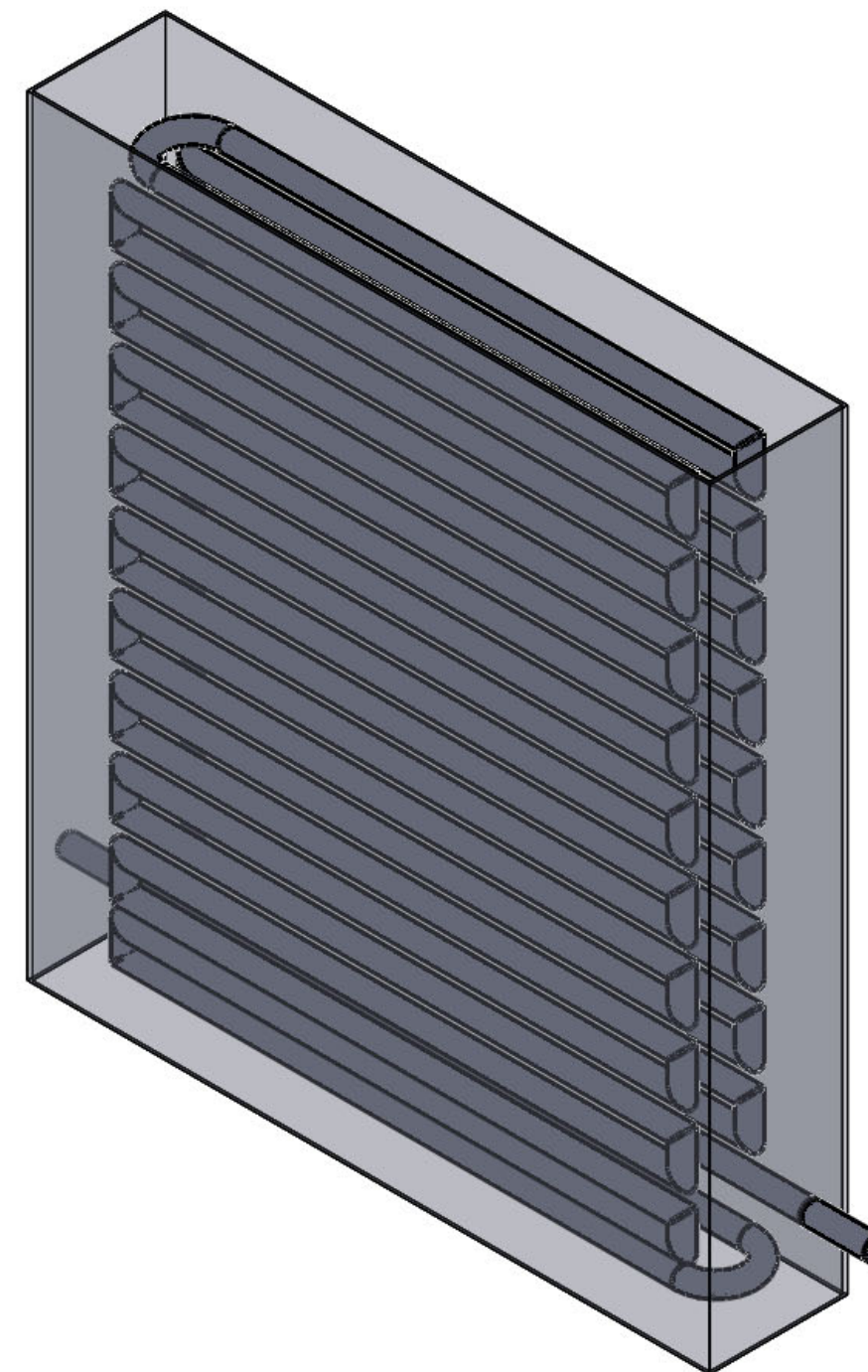
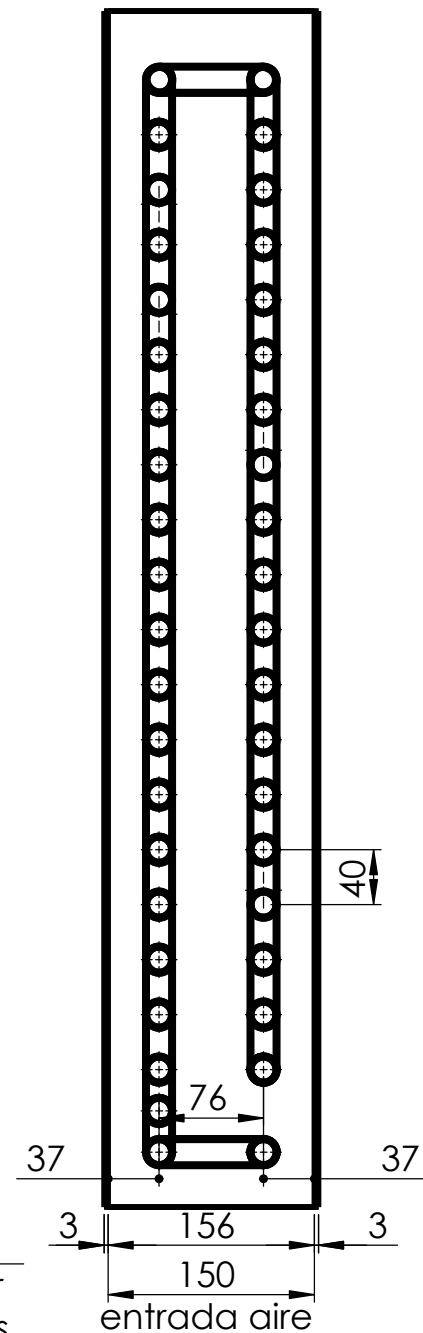
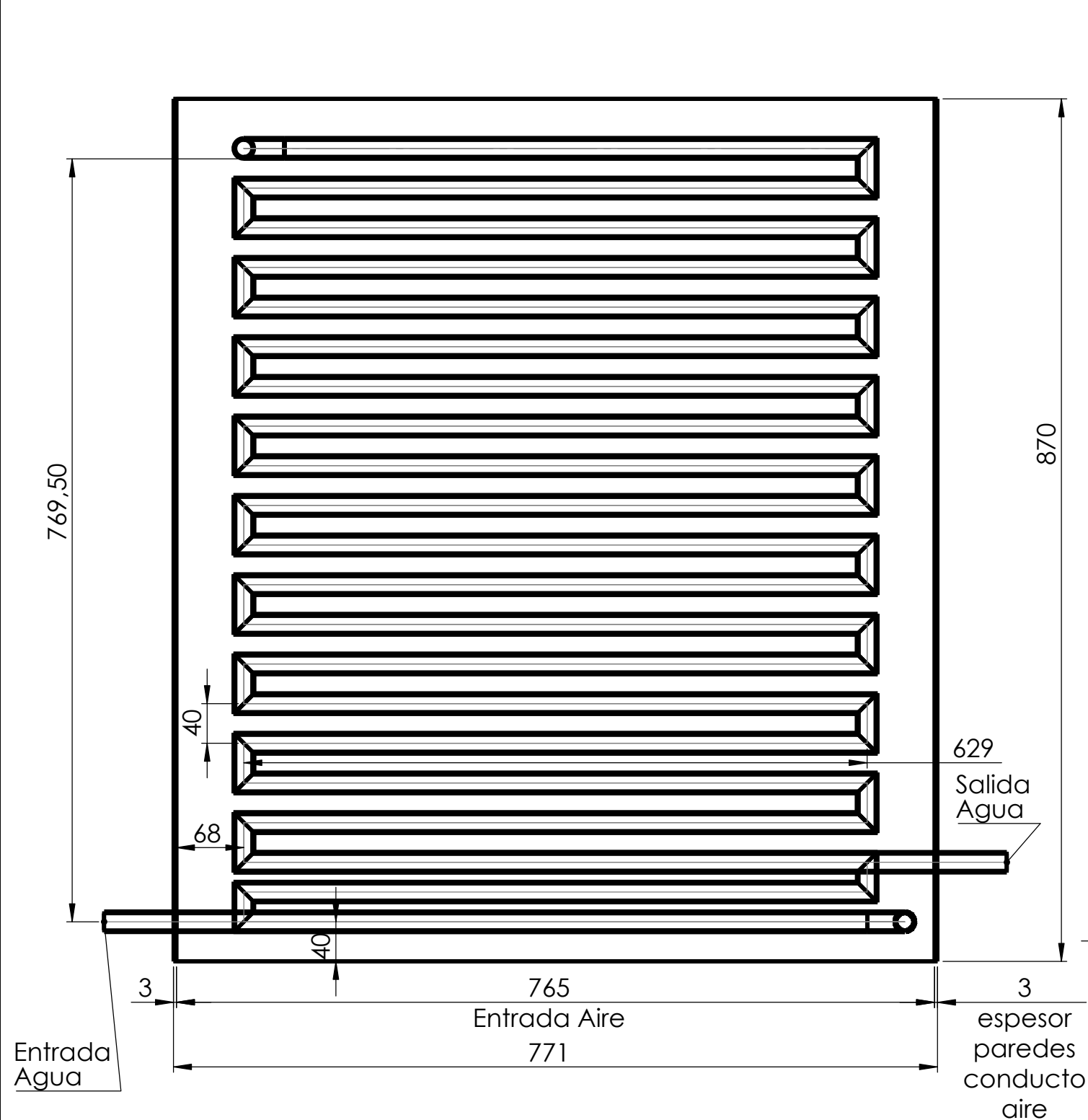
ESCALA
1:5



**PROYECTO FINAL
DE INGENIERÍA
MECÁNICA**

Nombre Plano:

Intercambiador 01



Cañería de Agua : **27,8m**

SIGULIN Rodrigo
Legajo: S-4969/7

Rosario - Santa Fe - Argentina

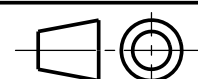


Plano N° 02

Material:
AISI 304

Cantidad: 01

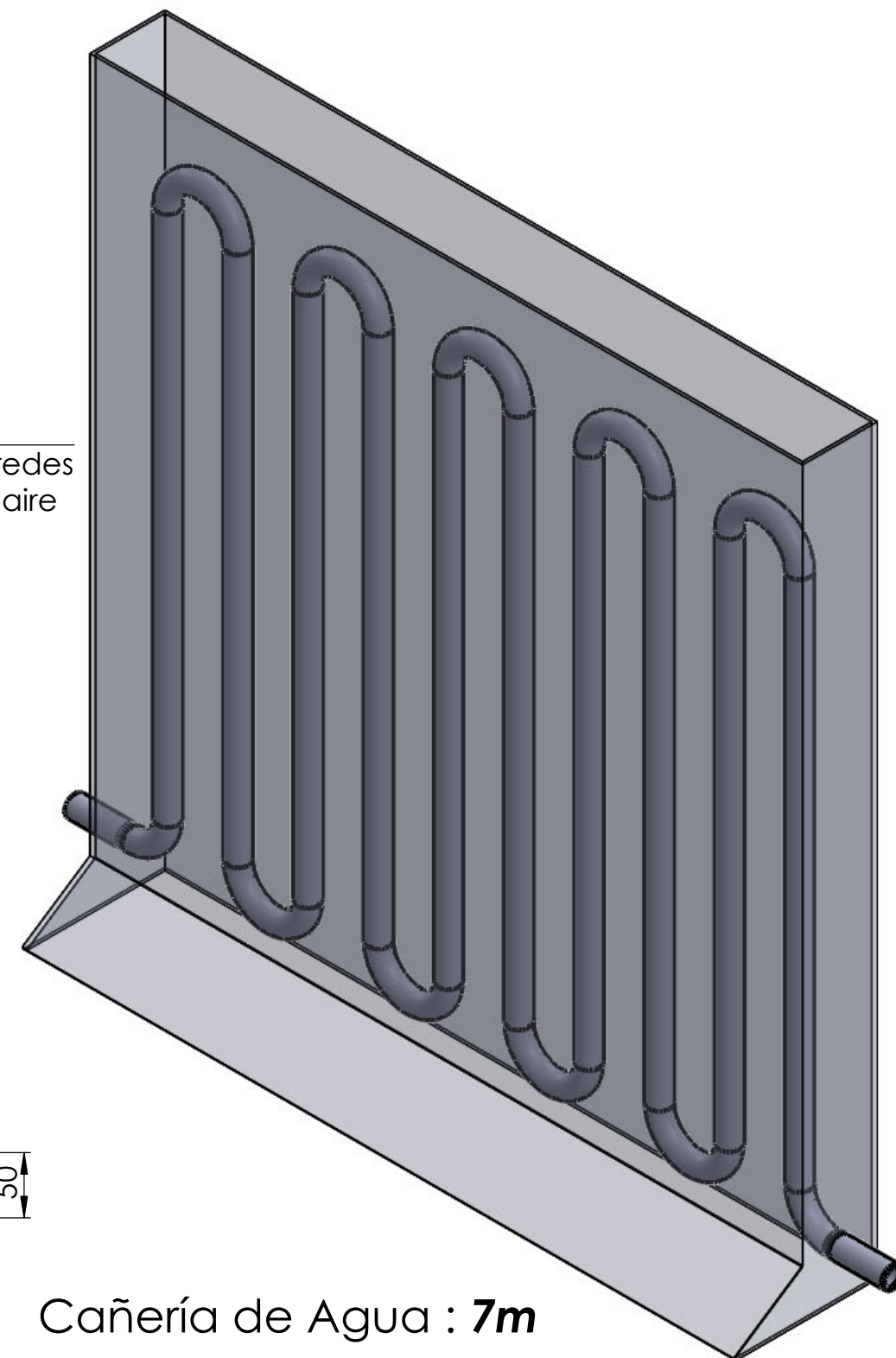
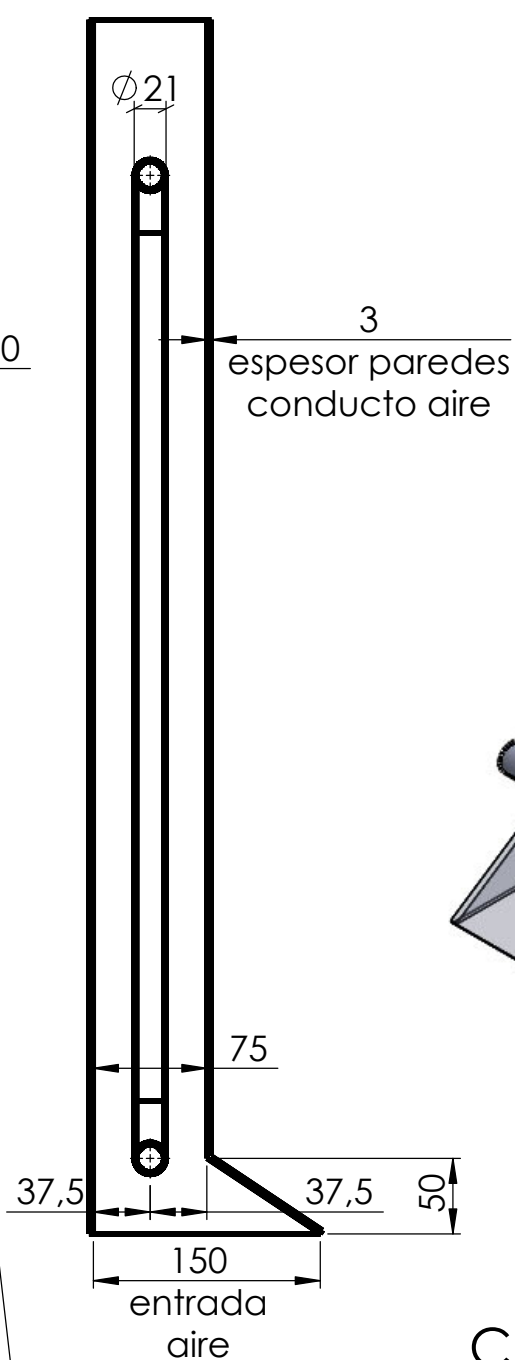
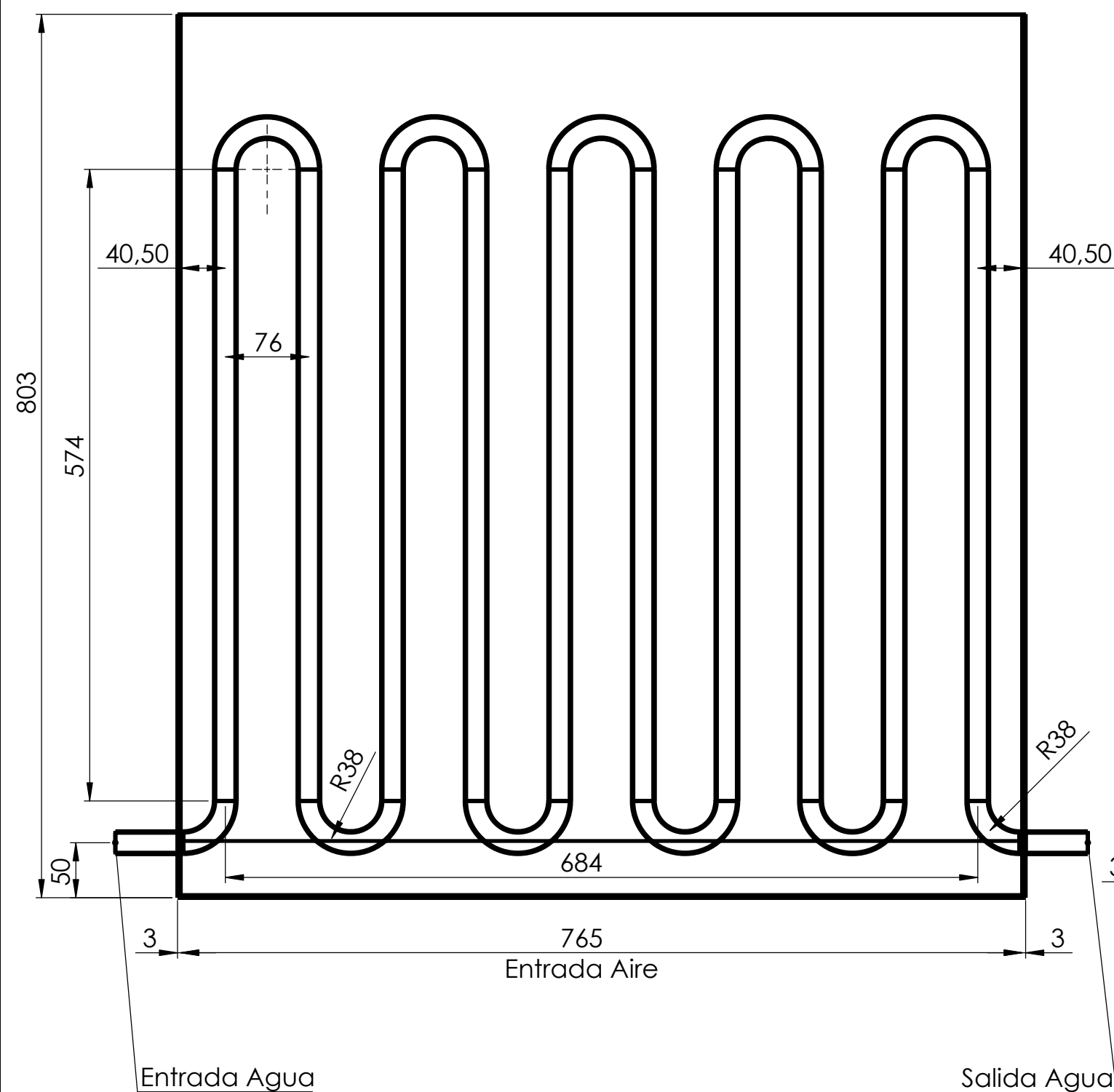
ESCALA
1:6



**PROYECTO FINAL
DE INGENIERÍA
MECÁNICA**

Nombre Plano:

Intercambiador 02



Cañería de Agua : **7m**

SIGULIN Rodrigo
Legajo: S-4969/7

Rosario - Santa Fe - Argentina

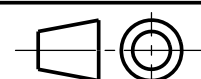


Plano N° 03

Material:
AISI 304

Cantidad: 01

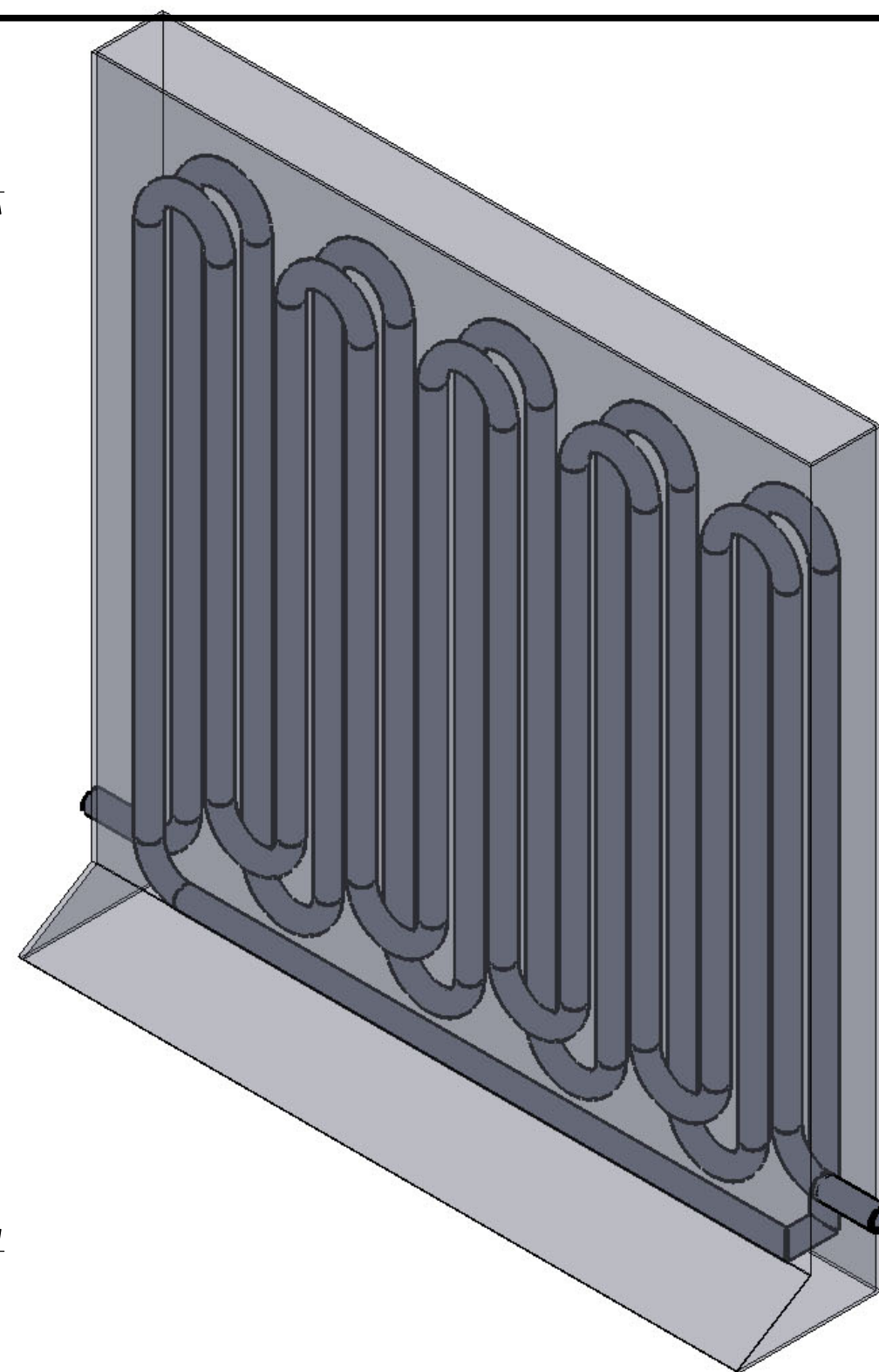
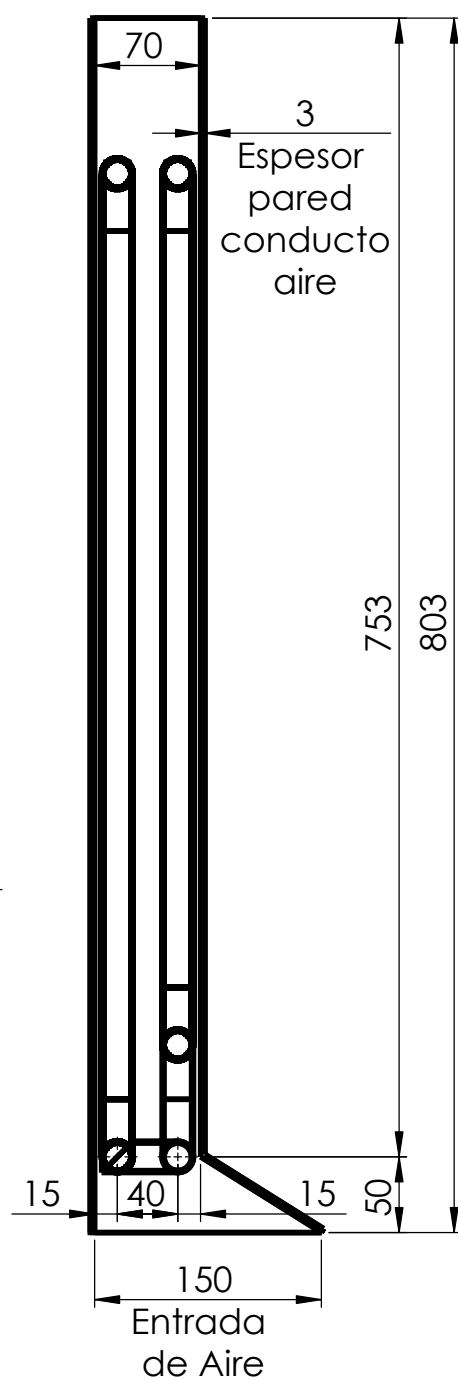
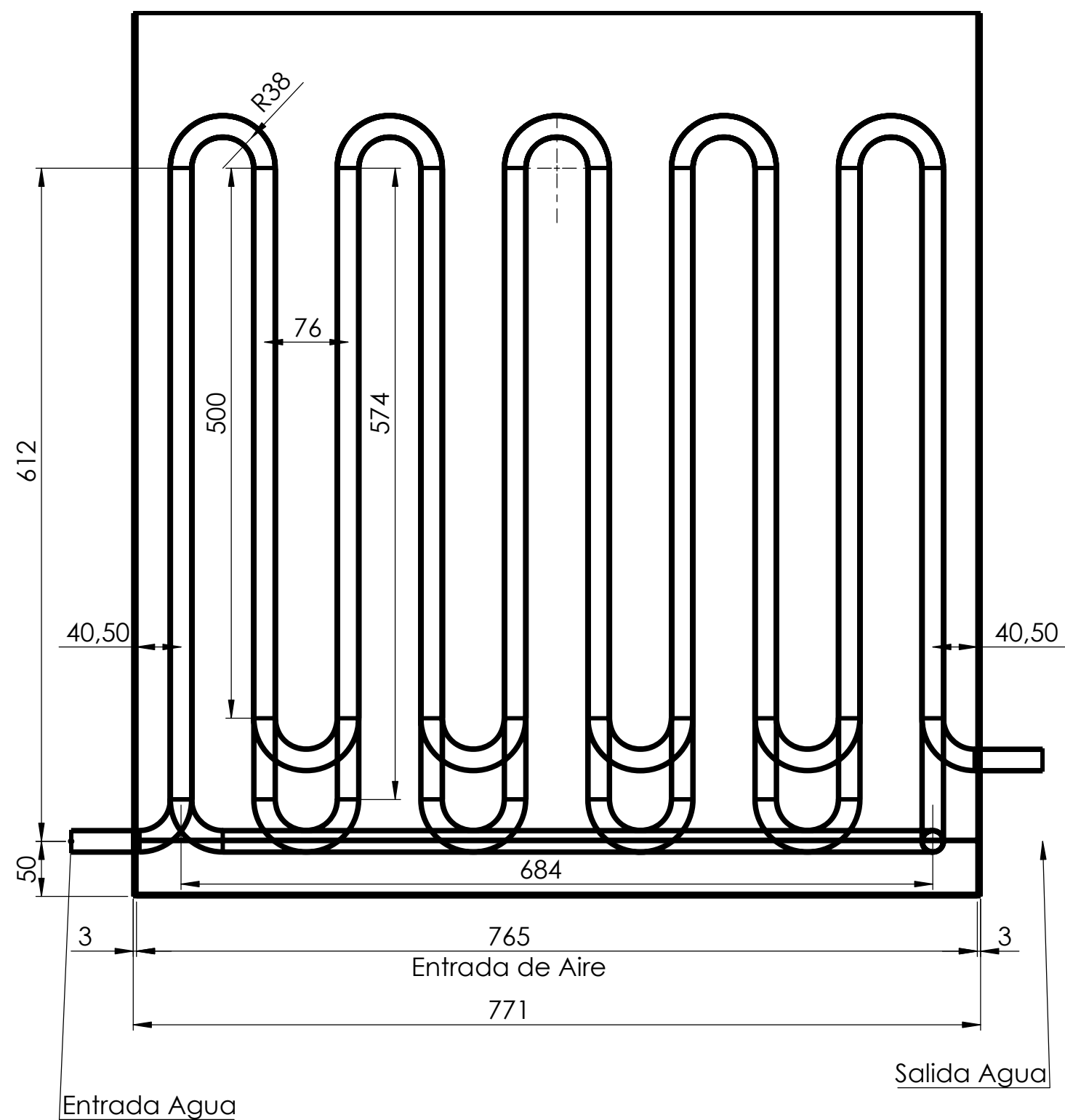
ESCALA
1:5



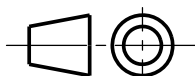
**PROYECTO FINAL
DE INGENIERÍA
MECÁNICA**

Nombre Plano:

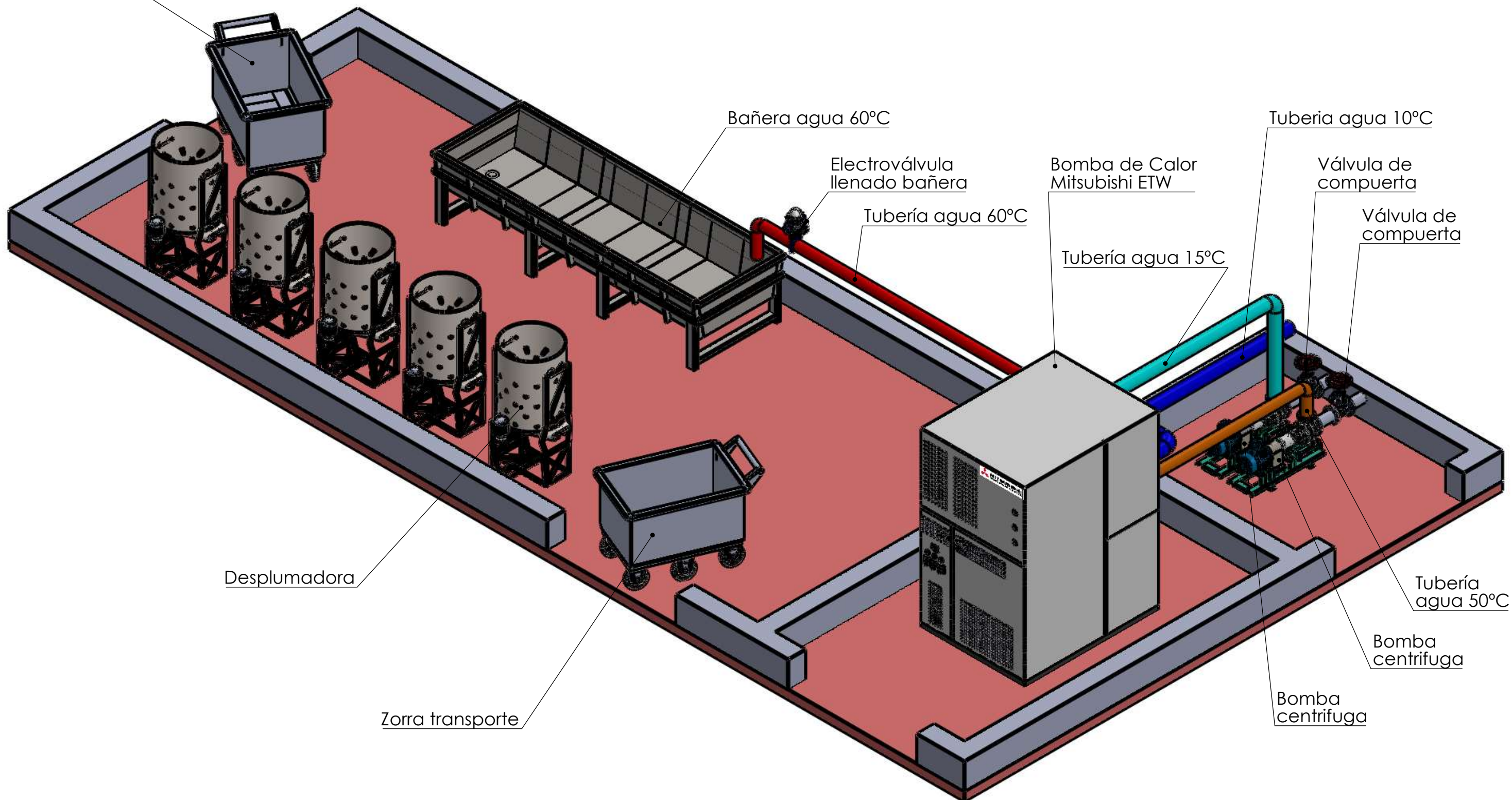
Intercambiador 03



Cañería de Agua : **14,4m**

SIGULIN Rodrigo Legajo: S-4969/7 Rosario - Santa Fe - Argentina				Plano N° 04 Material: AISI 304 Cantidad: 01
ESCALA 1:5 	PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA MECÁNICA			Nombre Plano: Intercambiador 04

Zorra transporte



Desplumadora

Zorra transporte

SIGULIN Rodrigo
Legajo: S-4969/7

Rosario - Santa Fe - Argentina



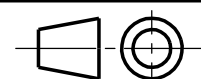
Plano N° 05

Material:

-

Cantidad: -

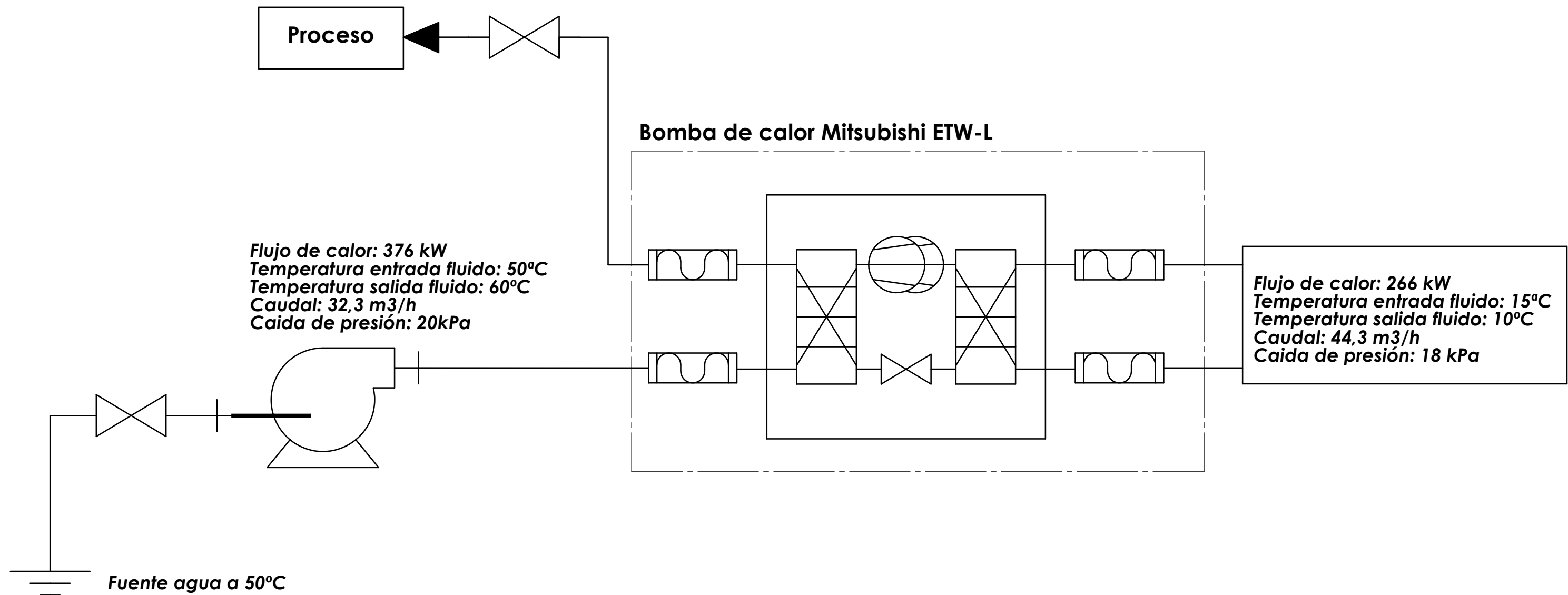
ESCALA
S/E



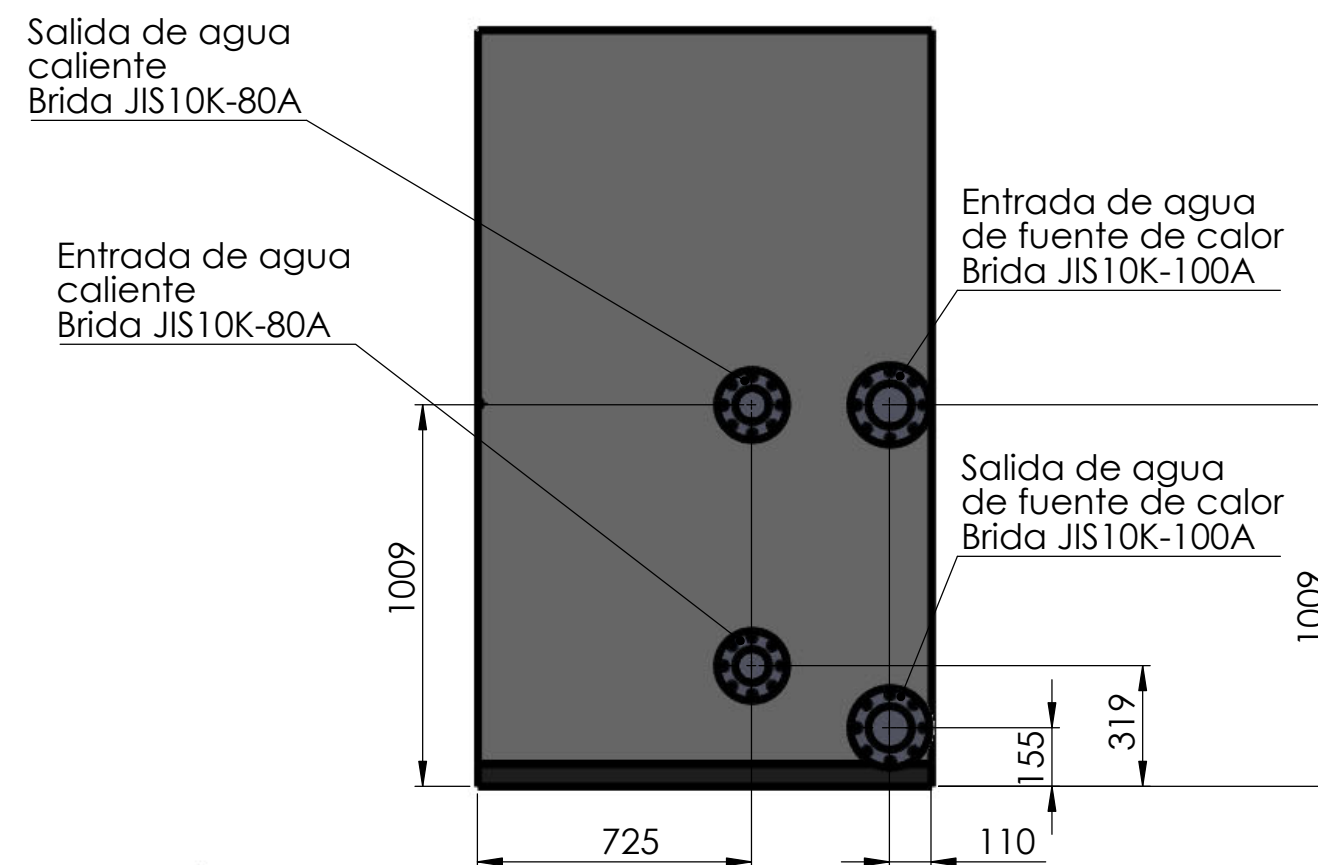
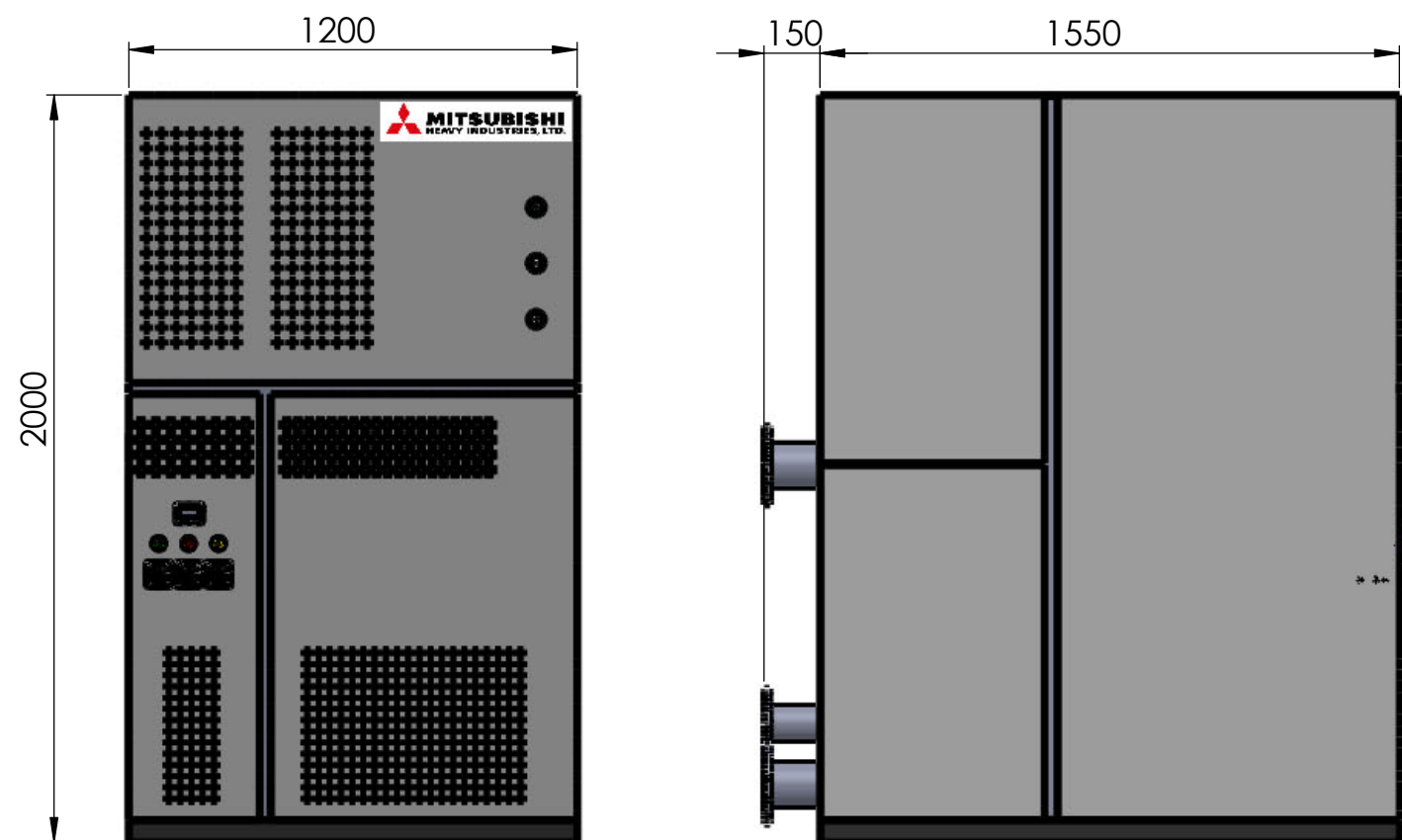
**PROYECTO FINAL
DE INGENIERÍA
MECÁNICA**

Nombre Plano:

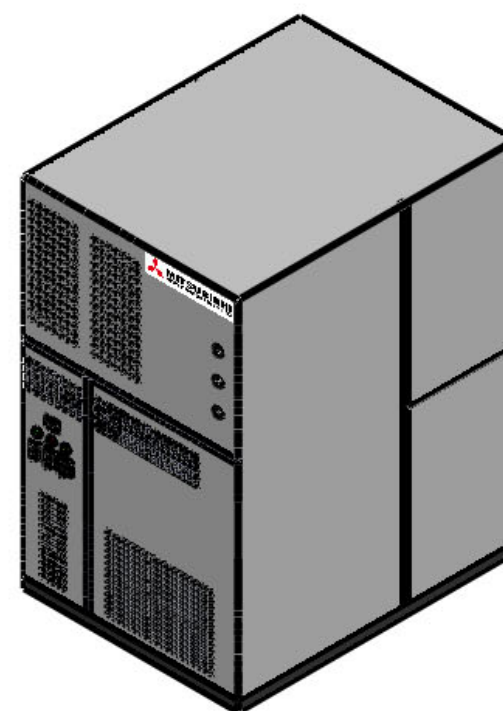
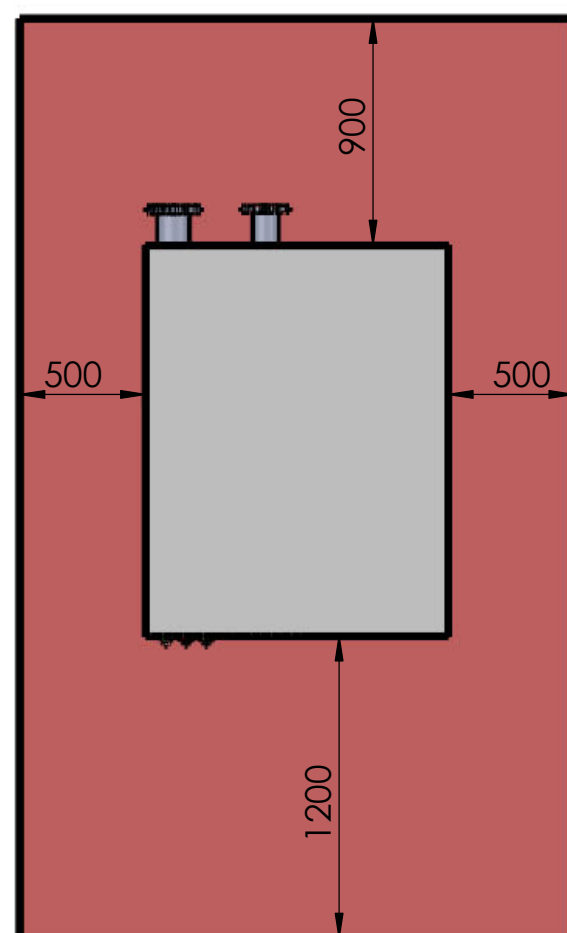
Maqueta 3D - Caso 01



SIGULIN Rodrigo Legajo: S-4969/7 Rosario -Santa Fe - Argentina				Plano N° 06 <u>Material:</u> - Cantidad: -
ESCALA S/E 	PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA MECÁNICA		<u>Nombre Plano:</u> Lay Out - Caso 01	



Área Montaje Equipo



SIGULIN Rodrigo
Legajo: S-4969/7

Rosario - Santa Fe - Argentina



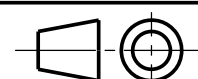
Plano N° 07

Material:

-

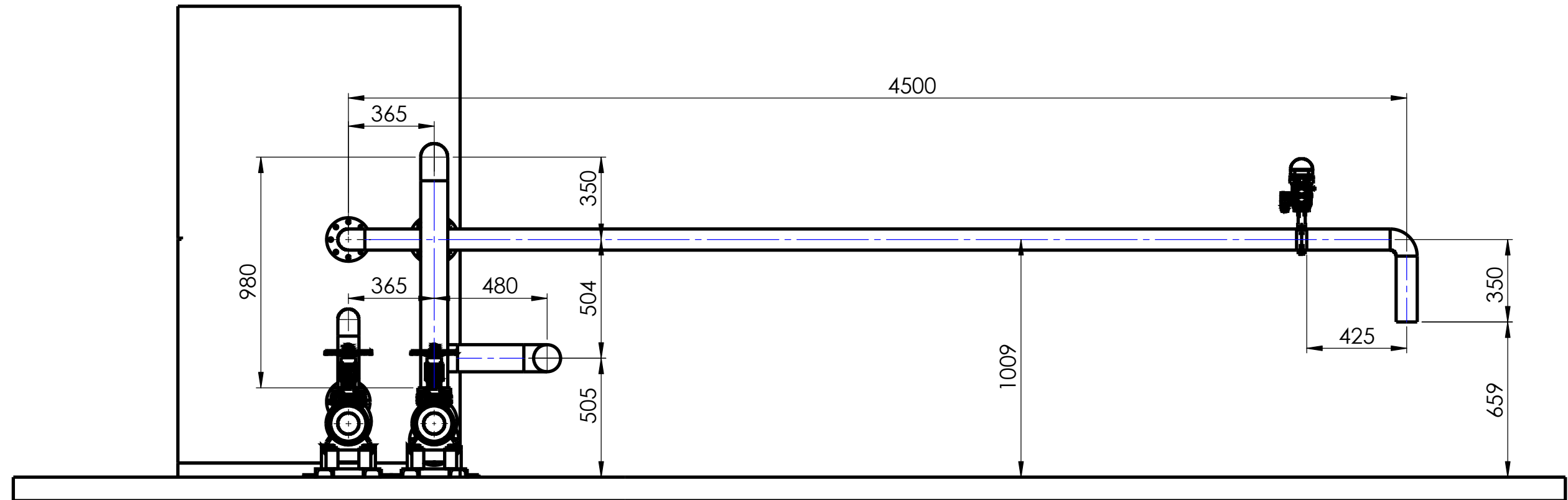
Cantidad: -

ESCALA
1:20

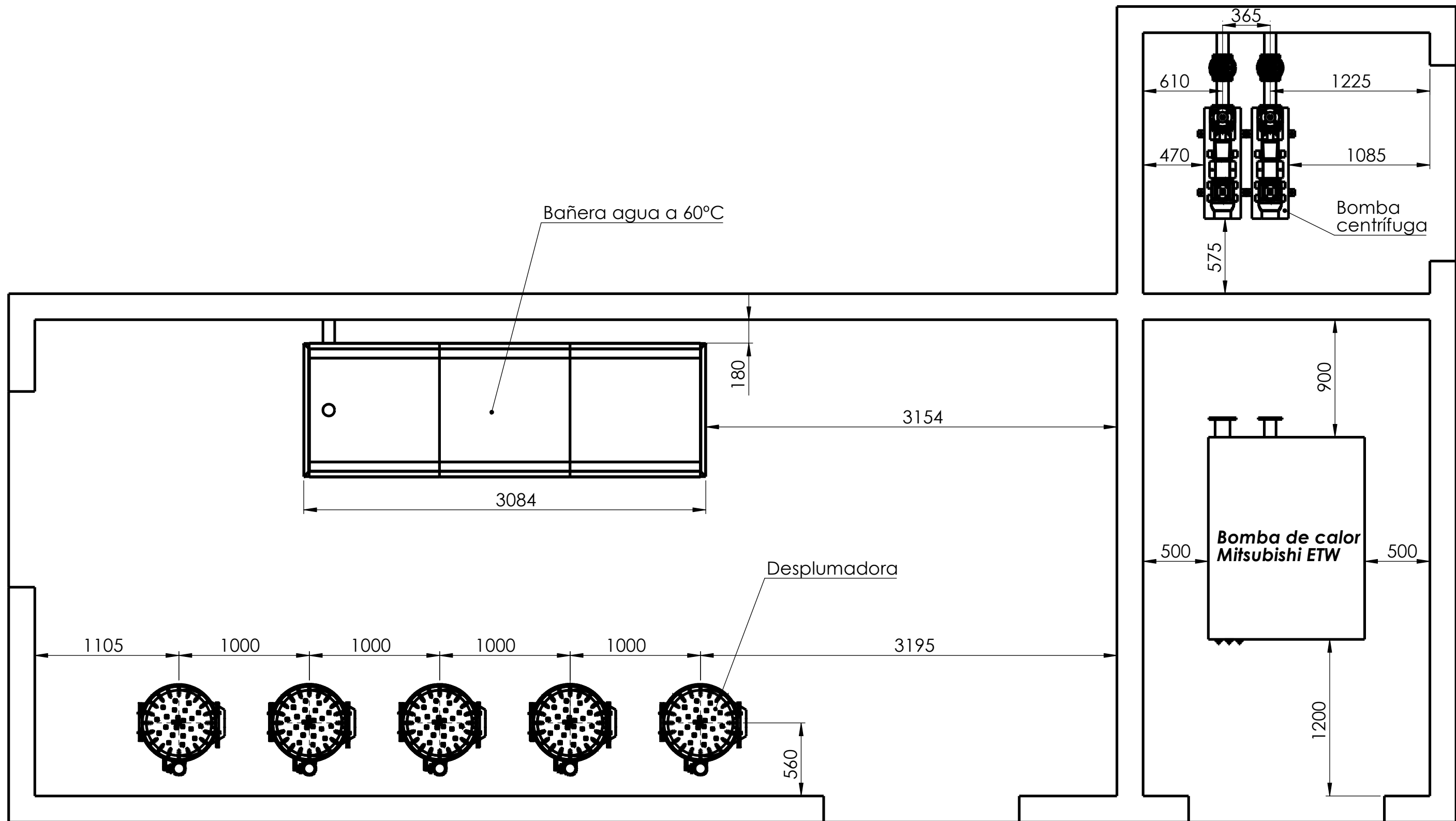


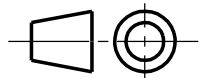
**PROYECTO FINAL
DE INGENIERÍA
MECÁNICA**

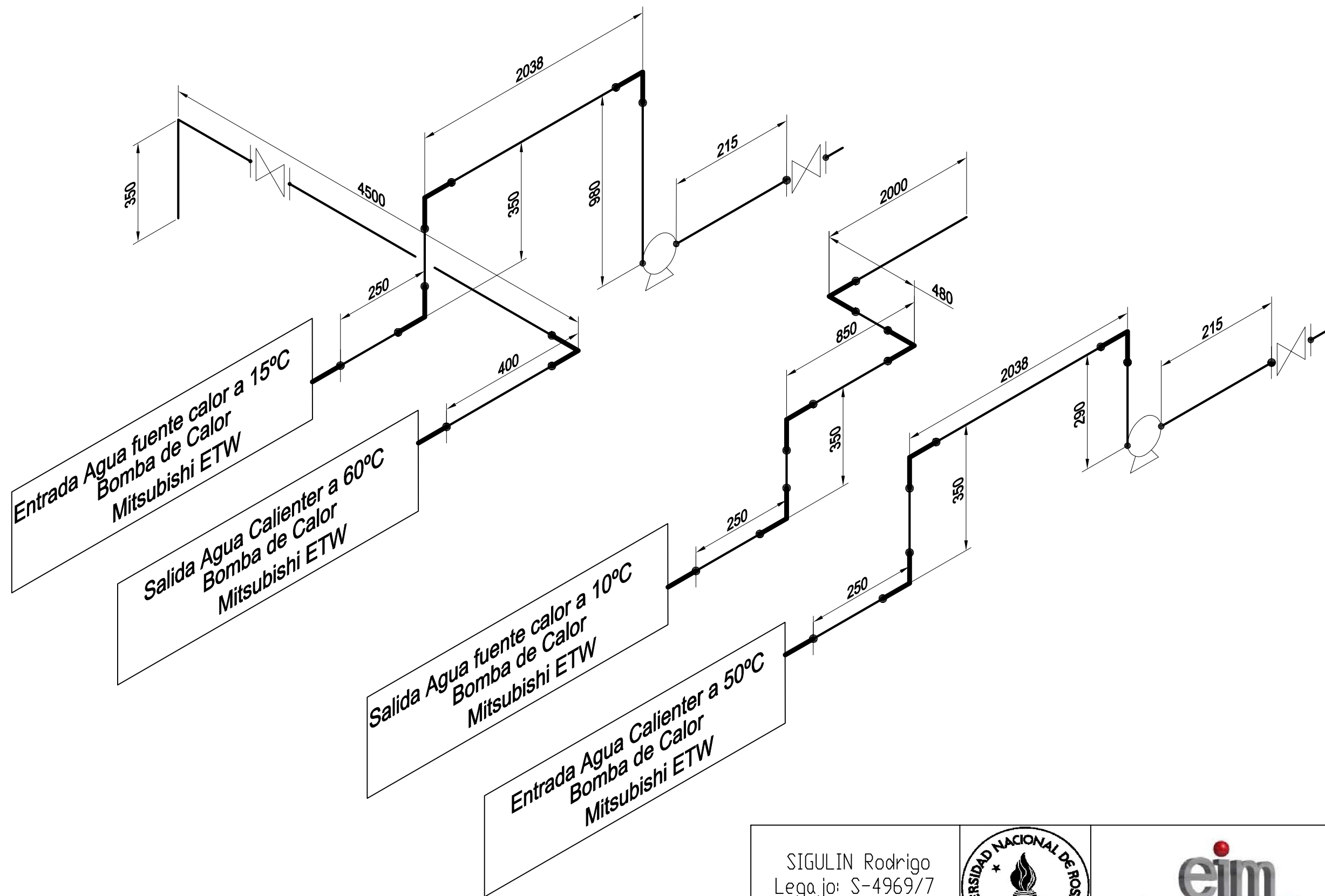
Nombre Plano:
Dimensiones y Montaje
Bomba de Calor
Mitsubishi ETW

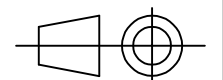


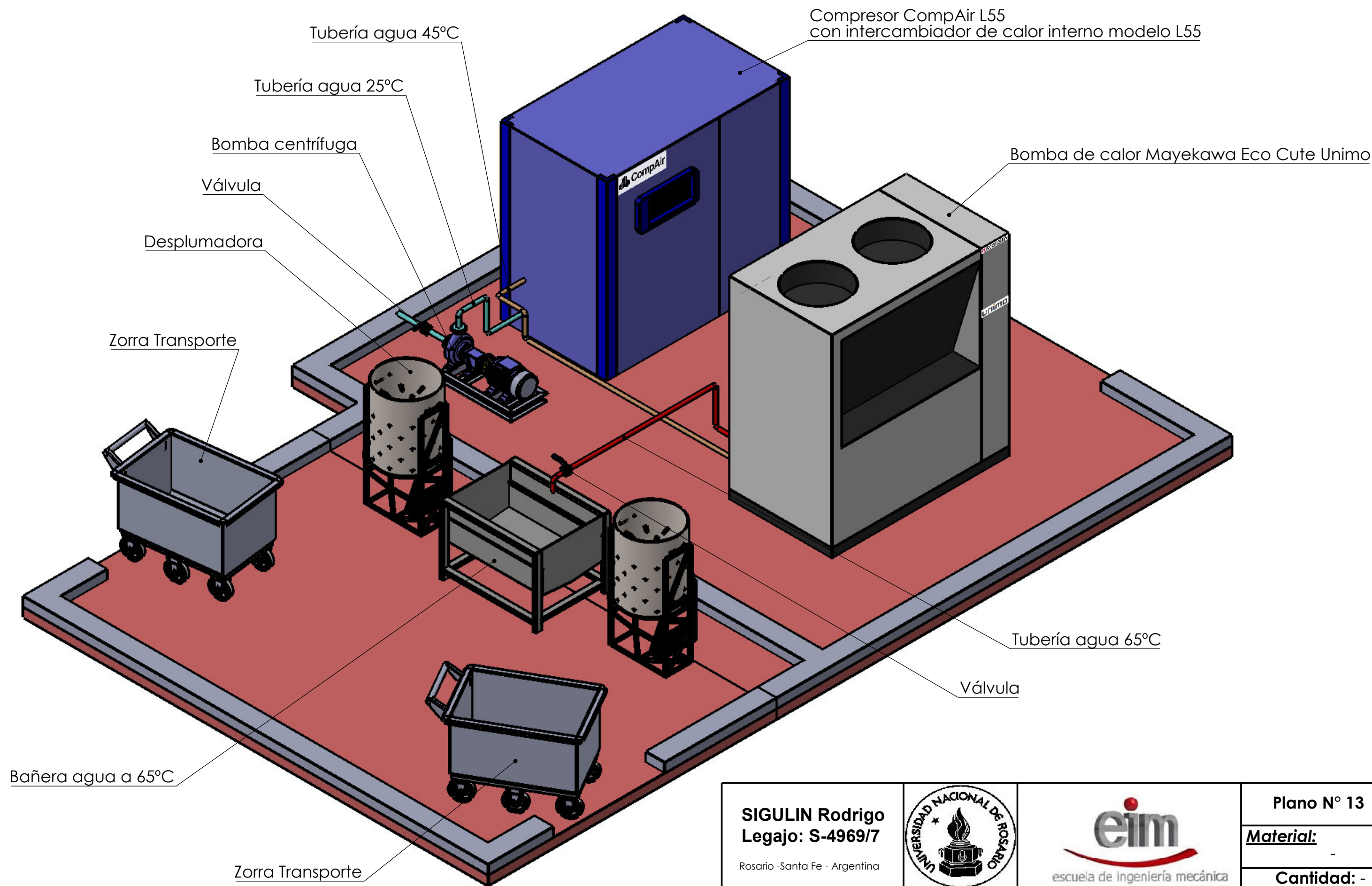
SIGULIN Rodrigo Legajo: S-4969/7 Rosario -Santa Fe - Argentina				Plano N° 10
				<u>Material:</u> -
				Cantidad: -
ESCALA 1:20	PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA MECÁNICA		<u>Nombre Plano:</u> Vista Trasera - Caso 01	
				



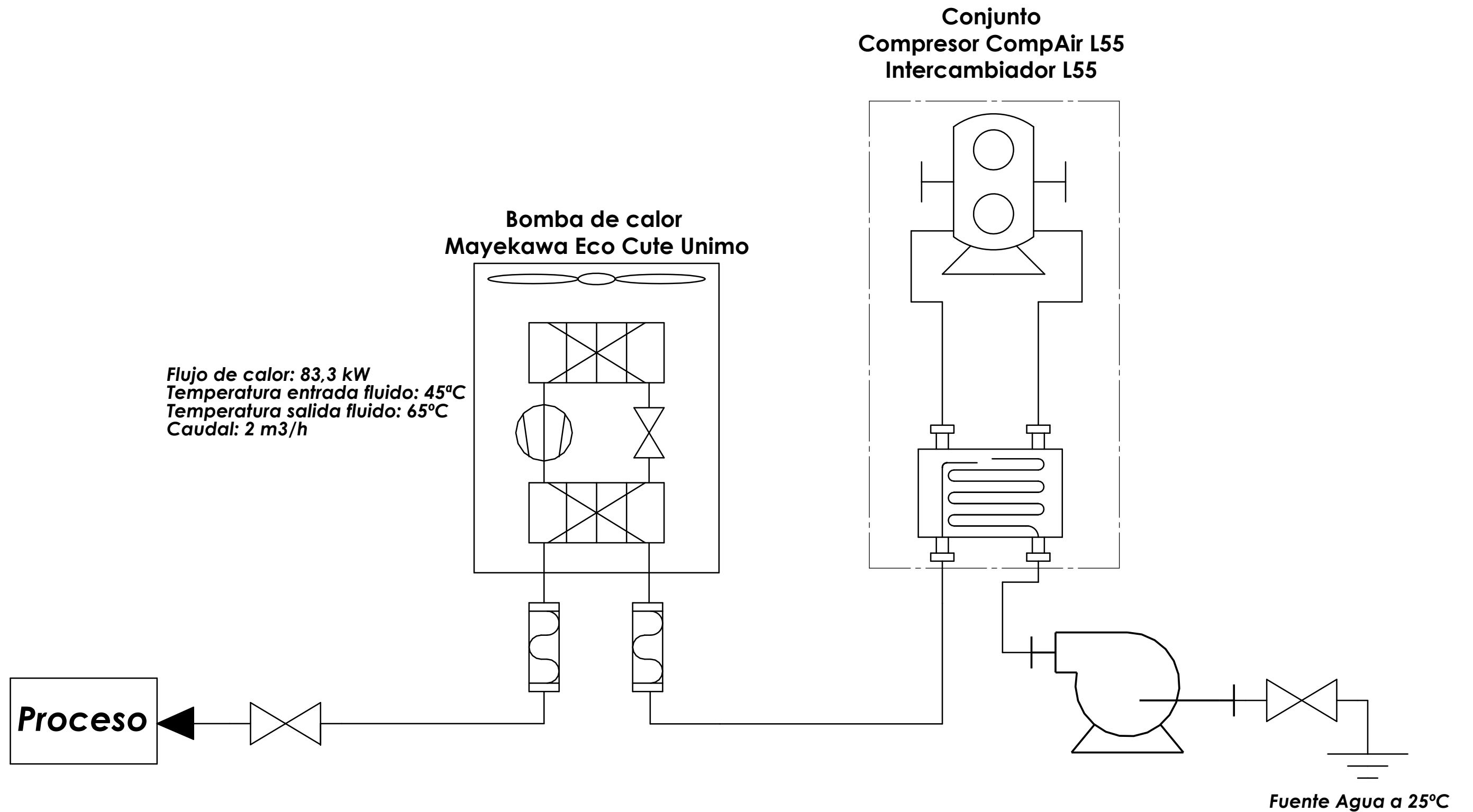
SIGULIN Rodrigo Legajo: S-4969/7 Rosario -Santa Fe - Argentina				Plano N° 11
				<u>Material:</u> -
				Cantidad: -
ESCALA 1:30		PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA MECÁNICA		<u>Nombre Plano:</u> Disposición Equipos - Caso 01
				

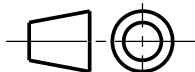


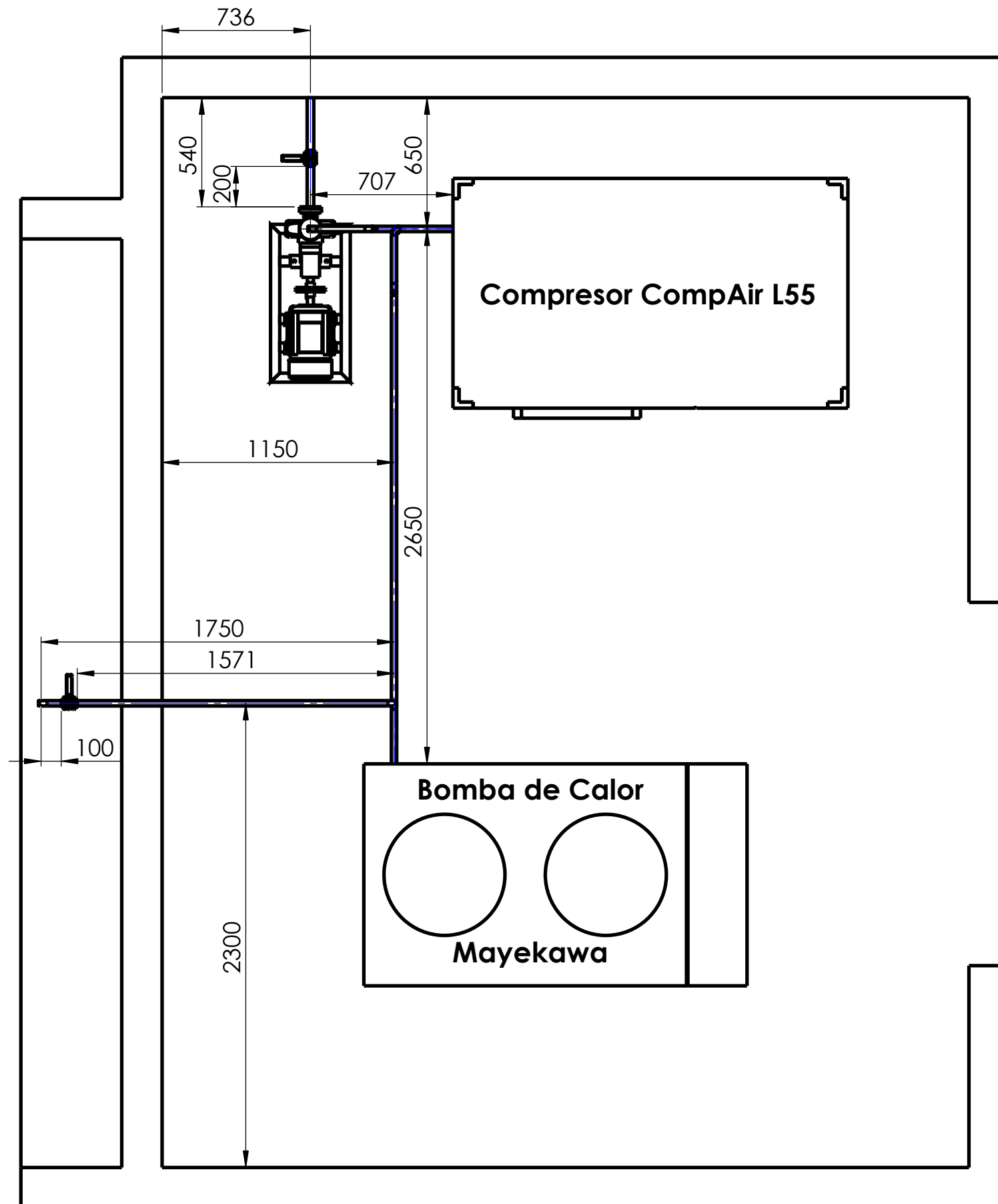
SIGULIN Rodrigo Legajo: S-4969/7 Rosario -Santa Fe - Argentina			Plano N° 12
			Material: -
			Cantidad: -
ESCALA S/E 	PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA MECÁNICA	Nombre Plano: Isométrico Tuberías - CASO 01	



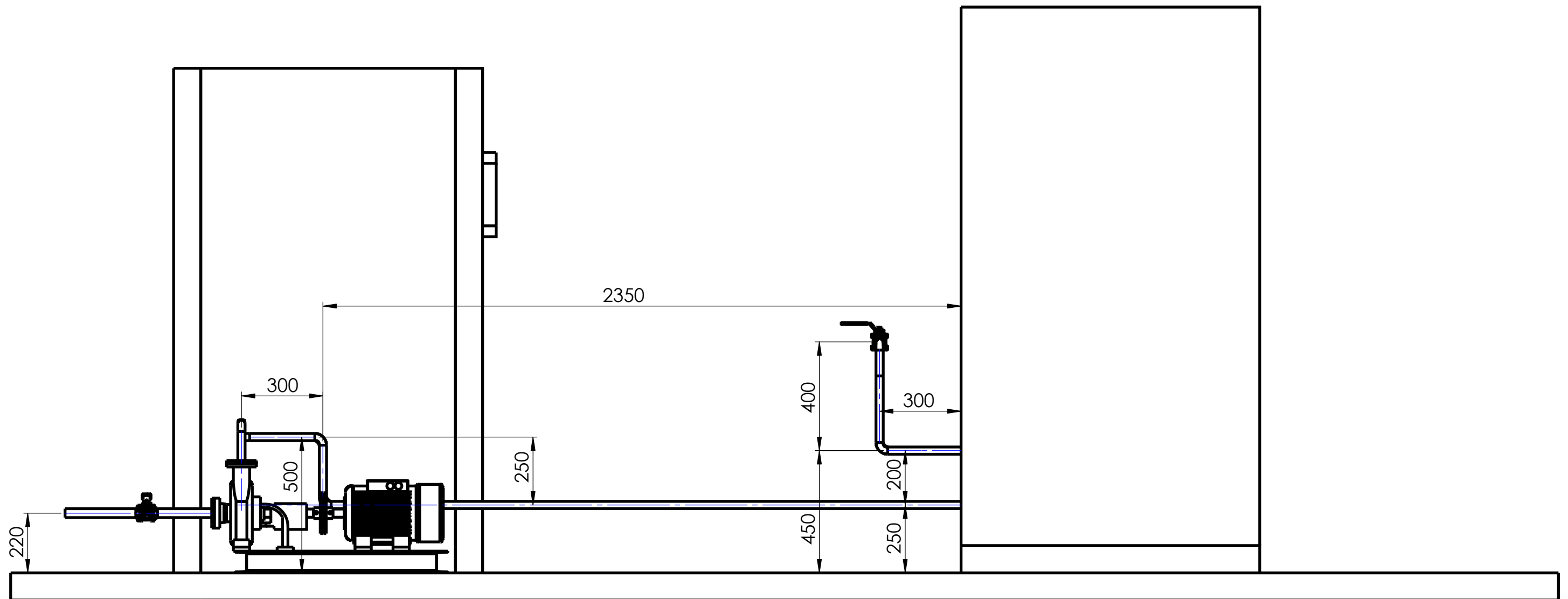
SIGULIN Rodrigo Legajo: S-4969/7 Rosario -Santa Fe - Argentina				Plano N° 13
				<u>Material:</u> -
				Cantidad: -
ESCALA S/E	PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA MECÁNICA	<u>Nombre Plano:</u> Maqueta 3D - Caso 02		
				



SIGULIN Rodrigo Legajo: S-4969/7 Rosario -Santa Fe - Argentina				Plano N° 14 <u>Material:</u> - Cantidad: -
ESCALA S/E 	PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA MECÁNICA		<u>Nombre Plano:</u> Lay Out - Caso 02	



SIGULIN Rodrigo Legajo: S-4969/7 Rosario - Santa Fe - Argentina				Plano N° 15 <u>Material:</u> - <u>Cantidad:</u> -
ESCALA 1:25 	PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA MECÁNICA		<u>Nombre Plano:</u> Vista Planta - Caso 01	



SIGULIN Rodrigo
Legajo: S-4969/7

Rosario - Santa Fe - Argentina



Plano N° 16

Material:

-

Cantidad: -

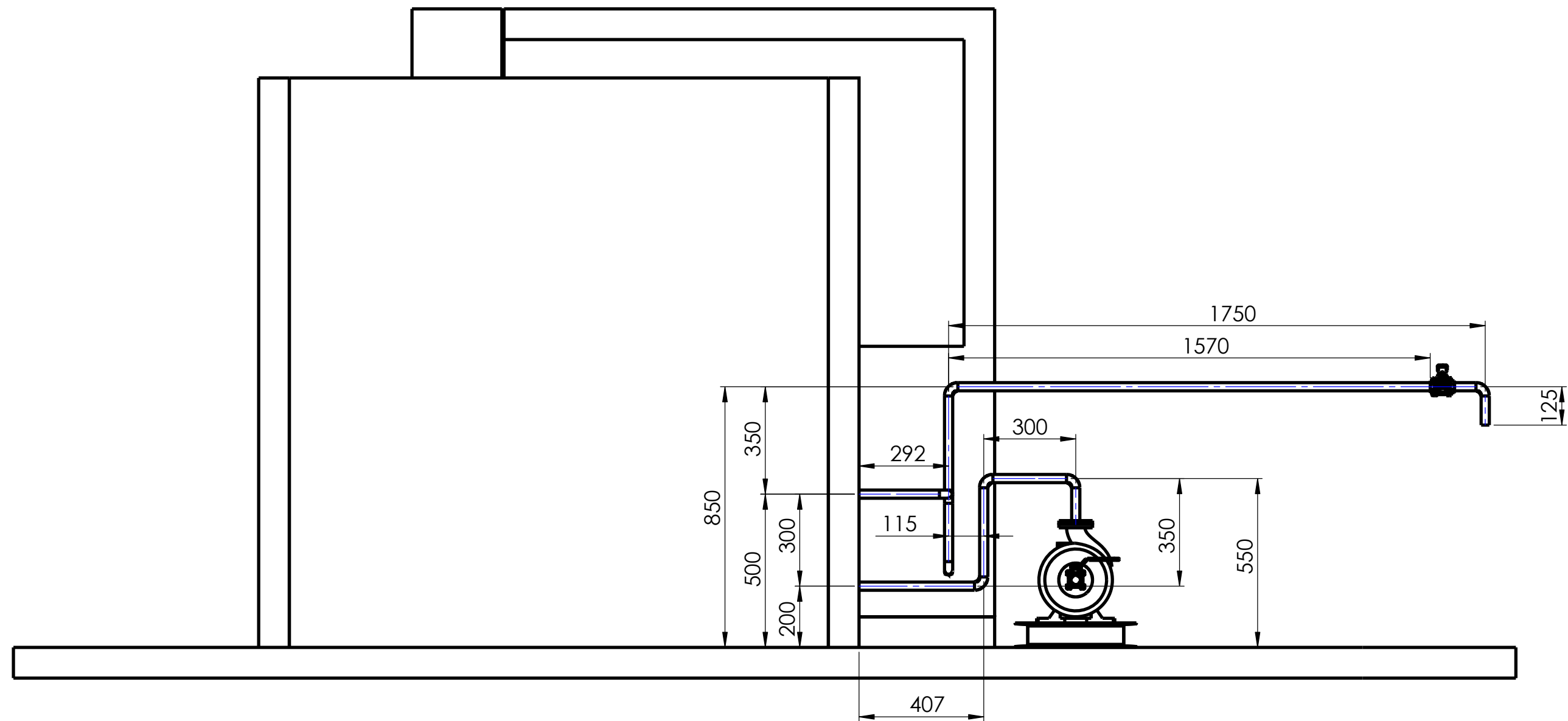
ESCALA
 1:15



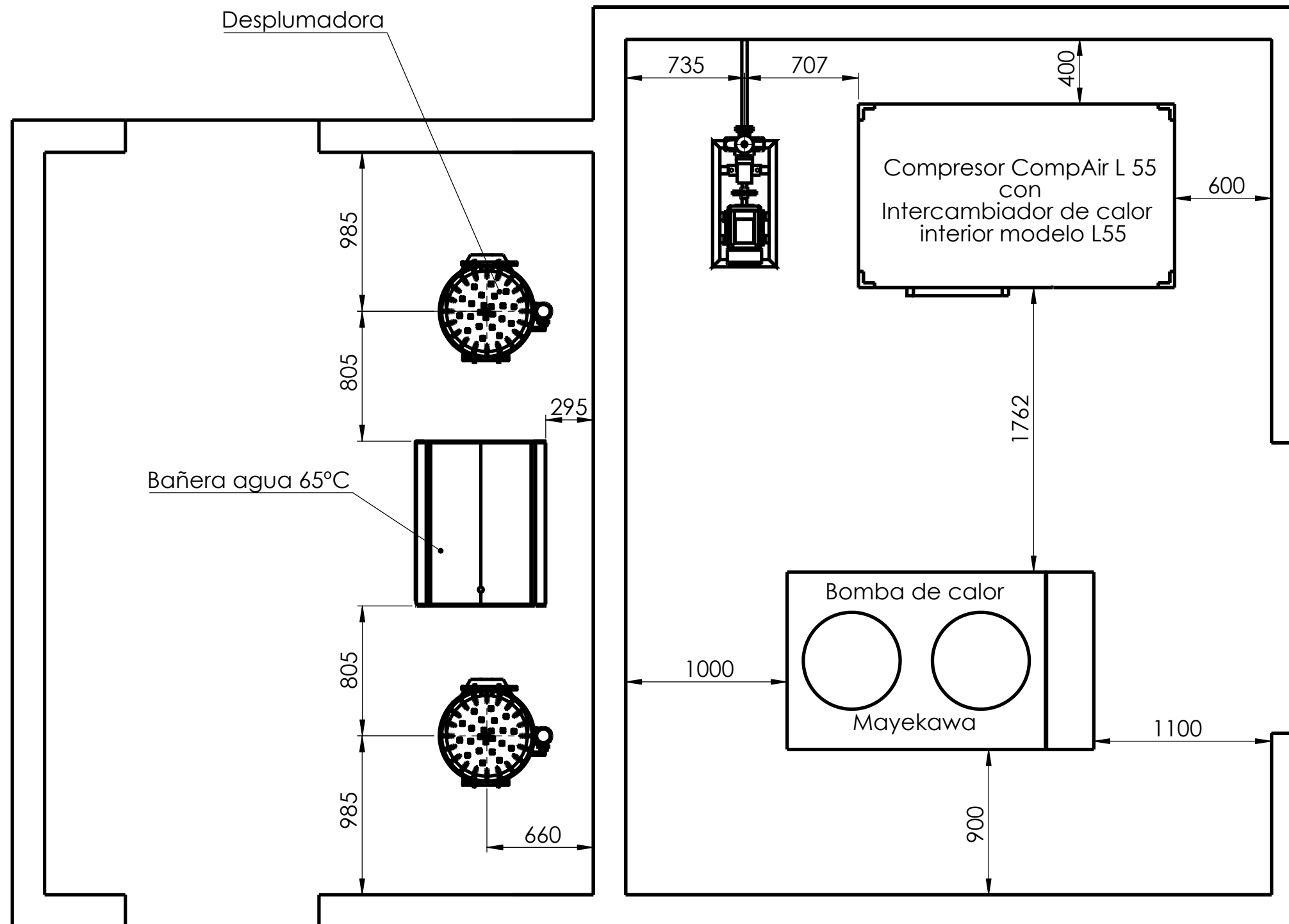
**PROYECTO FINAL
 DE INGENIERÍA
 MECÁNICA**

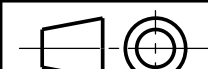
Nombre Plano:

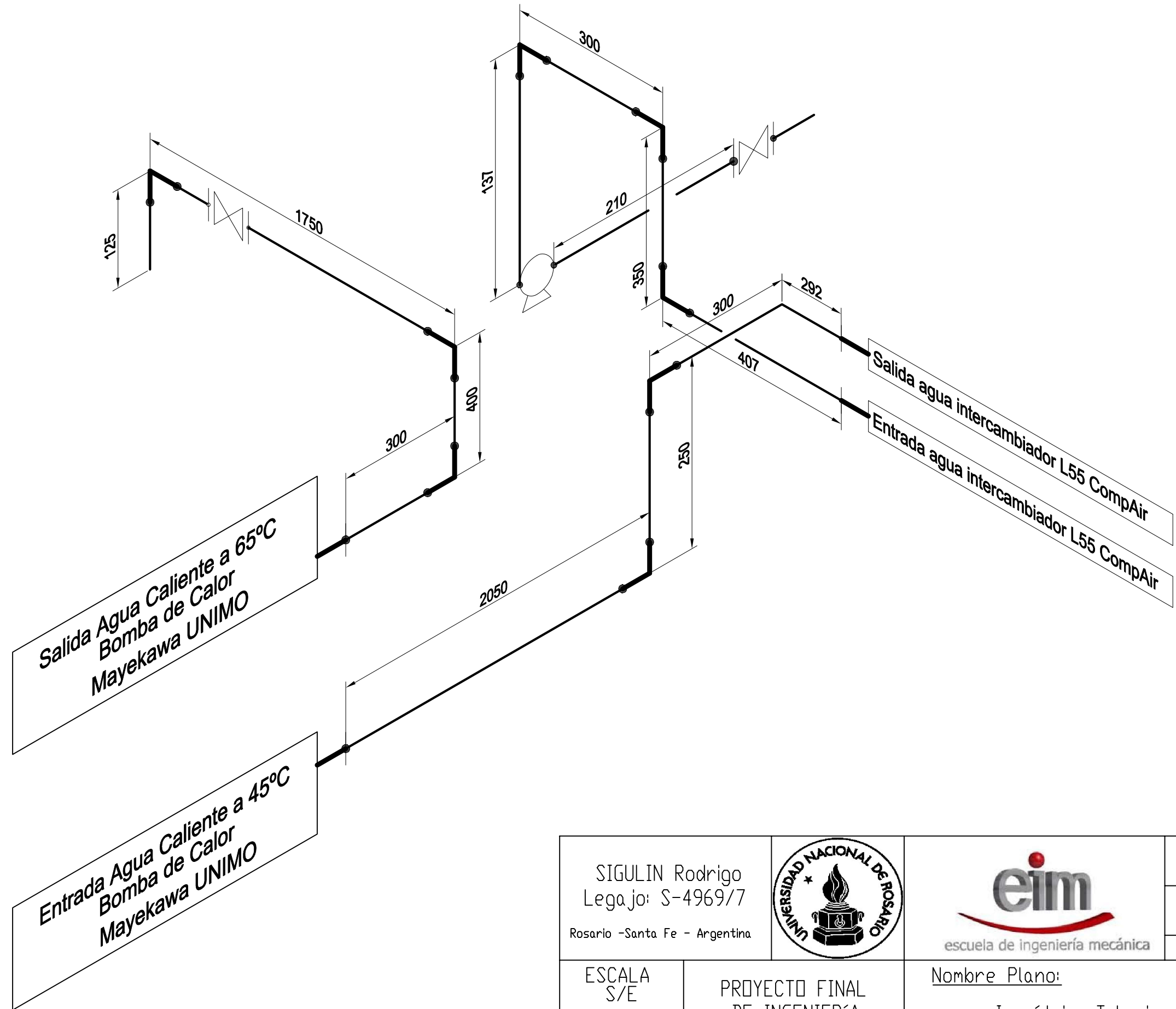
Vista Lateral - Caso 02

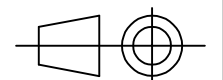


SIGULIN Rodrigo Legajo: S-4969/7 Rosario - Santa Fe - Argentina				Plano N° 17 <u>Material:</u> - Cantidad: -
ESCALA 1:15 	PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA MECÁNICA		<u>Nombre Plano:</u> Vista Trasera - Caso 02	



SIGULIN Rodrigo Legajo: S-4969/7 Rosario - Santa Fe - Argentina				Plano N° 18 <u>Material:</u> - Cantidad: -
ESCALA 1:30 	PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA MECÁNICA		<u>Nombre Plano:</u> Disposición Equipos - Caso 02	



SIGULIN Rodrigo Legajo: S-4969/7 Rosario - Santa Fe - Argentina			Plano N° 19
			Material: -
			Cantidad: -
ESCALA S/E 	PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA MECÁNICA	Nombre Plano: Isométrico Tuberías - CASO 02	