

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESTILADOR DE AGUA PARA LABORATORIO  
CON ENFRIAMIENTO DEL AGUA DE DESECHO POR REFRIGERACIÓN PARA SER  
REUTILIZADA

CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA

2024

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESTILADOR DE AGUA PARA LABORATORIO  
CON ENFRIAMIENTO DEL AGUA DE DESECHO POR REFRIGERACIÓN PARA SER  
REUTILIZADA

CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director:

Alberto David Pertuz Comas  
Doctor en Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA

2024

## CONTENIDO

1	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	10
2	OBJETIVOS.....	11
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3	JUSTIFICACIÓN.....	12
4	MARCO TEÓRICO.....	13
4.1	ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	13
4.2	REFERENTES TEÓRICOS.....	13
5	DISEÑO DE CONCEPTO.....	18
5.1	ALTERNATIVAS CONCEPTUALES PARA EL EVAPORADOR.....	18
5.2	ALTERNATIVAS CONCEPTUALES PARA EL CONDENSADOR.....	18
5.3	ALTERNATIVAS CONCEPTUALES SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.....	19
5.4	MATRIZ QFD.....	21
5.5	ESQUEMA CONCEPTUAL RESULTANTE.....	22
6	DISEÑO DE DETALLE.....	24
6.1	CALDERA O EVAPORADOR.....	24
6.2	SELECCIÓN DE LA BOMBA.....	25
6.3	CONDENSADOR.....	29
6.4	SELECCIÓN DEL EXTRACTOR.....	32
6.5	SELECCIÓN DE MATERIALES.....	33
6.6	SELECCIÓN DEL TIPO DE SOLDADURA.....	34
6.7	DISEÑO ELÉCTRICO.....	34

6.8	PARTES Y COMPONENTES DEL DESTILADOR.....	37
7	CONSTRUCCIÓN.....	40
7.1	ADQUISICIÓN DE PIEZAS.....	40
7.2	CORTE, DOBLADO Y SOLDADO.....	40
7.3	MONTAJE DEL EQUIPO.....	42
8	VALIDACIÓN.....	46
8.1	CAPACIDAD DE DESTILADO.....	46
8.2	TEMPERATURA DE ESTABILIZACIÓN DEL AGUA EN LA TORRE.....	46
8.3	CALIDAD DEL AGUA.....	47
9	ANÁLISIS DE COSTOS.....	48
9.1	COSTOS DE FABRICACIÓN.....	48
9.2	COSTOS DE OPERACIÓN.....	50
9.3	COSTOS TOTALES.....	52
10	CONCLUSIONES.....	53
11	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
12	ANEXOS.....	56

## LISTA DE TABLAS

TABLA 4.1 REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DEL AGUA.....	10
TABLA 6.1 CAUDAL, VELOCIDAD Y ALTURA DE LA BOMBA.....	19
TABLA 8.1 MEDICIONES CAPACIDAD DE DESTILADO .....	34
TABLA 9.1 COSTOS DE FABRICACIÓN.....	36
TABLA 9.2 COSTOS DE MANTENIMIENTO .....	39
TABLA 9.3 COSTOS TOTALES .....	39

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 4.1 PROCESO DE DESTILACIÓN .....	10
FIGURA 4.2 PROCESO DE EBULLICIÓN EN DIAGRAMA T-H.....	11
FIGURA 5.1 TANQUE DE AGUA.....	13
FIGURA 5.2 SERPENTÍN / VENTILADOR.....	13
FIGURA 5.3 CHILLER INDUSTRIAL.....	14
FIGURA 5.4 TORRE DE ENFRIAMIENTO.....	14
FIGURA 5.5 MATRIZ QFD .....	15
FIGURA 5.6 DISEÑO DE CONCEPTO .....	16
FIGURA 6.1 MODELO EVAPORADOR .....	18
FIGURA 6.2 ALTURA VS CAUDAL DE LA BOMBA .....	18
FIGURA 6.3 MODELO CONDENSADOR .....	21
FIGURA 6.4 DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTOS .....	26
FIGURA 6.5 DIAGRAMA ELÉCTRICO.....	27
FIGURA 6.6 COMPONENTES ELÉCTRICOS .....	27
FIGURA 7.1 PIEZAS DE DESTILADOR.....	29
FIGURA 7.2 DIBUJO PARA CORTE DE LÁMINA.....	29
FIGURA 7.3 PIEZAS SOLDADAS.....	30
FIGURA 7.4 ENSAMBLAJE DEL EVAPORADOR .....	31
FIGURA 7.5 CONEXION DE MANGUERAS.....	31
FIGURA 7.6 ENSAMBLAJE TORRE DE ENFRIAMIENTO .....	32
FIGURA 7.7 ENSAMBLAJE COLUMNA Y OTRAS PIEZAS .....	32
FIGURA 7.8 CONJUNTO DESTILADOR - TORRE DE ENFRIAMIENTO .....	33
FIGURA 8.1 TEMPERATURA GRADOS CELSIUS VS TIEMPO MINUTOS.....	34
FIGURA 8.2 ANÁLISIS DE AGUA DESTILADA.....	35

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A PRUEBAS DE PUREZA DE AGUA .....	56
ANEXO B CÁLCULOS DE SELECCIÓN DE BOMBA .....	57
ANEXO C MANUAL .....	57
ANEXO D PLANOS .....	57

## RESUMEN

**TITULO:** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESTILADOR DE AGUA PARA LABORATORIO CON ENFRIAMIENTO DEL AGUA DE DESECHO POR REFRIGERACIÓN PARA SER REUTILIZADA\*

**AUTOR:** CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO\*\*

**PALABRAS CLAVE:** DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, DESTILADOR, TORRE DE ENFRIAMIENTO, AHORRO DE AGUA.

### **DESCRIPCIÓN:**

Los destiladores para laboratorio separan el agua de otros componentes con diferente punto de ebullición aumentando así su pureza, lo que le brinda al agua propiedades como una menor conductividad y la hace más útil como disolvente o reactivo. Los equipos de destilación disponibles usan agua a temperatura ambiente como fluido refrigerante en la condensación y después no la reutilizan, por lo que se desecha 8 o más veces que el volumen de agua destilada.

Con el fin de ahorrar agua en los Laboratorios de Química de la UIS, se diseñó y construyó un destilador que cuenta con un sistema en paralelo que enfría y reutiliza de manera cíclica el agua necesaria para la condensación. La alternativa para el enfriamiento del agua de desecho que se implementó fue una torre de tiro inducido debido a su bajo costo y fácil mantenimiento, entre otros requerimientos.

El equipo se desarrolló en acero inoxidable 304 calibre 18 y cuenta con una resistencia de inmersión de 3 kw, una bomba sumergible de 45 w y un extractor axial de 60 w entre otros componentes. El costo de fabricación fue de 14.9 MCOP y el costo de operación para valores promedio en la ciudad de Bucaramanga es de 2933 pesos por hora, muy similar a otros destiladores en el mercado.

Las pruebas realizadas en el conjunto Destilador – Torre mostraron una capacidad de destilado de 3.95 lph, valor muy cercano y admisible respecto del requerimiento de 4 lph. La temperatura del agua en la torre de enfriamiento se estabilizó en un valor de 35 grados Celsius, suficientemente bajo para condensar. Las pruebas de la calidad del agua mostraron una conductividad de 0.097 micro Siemens por metro, un PH de 7.15, así como, una medición de otros minerales con valores combinados menores a 1 miligramo por litro, todo dentro de los requerimientos de la norma ISO 3696.

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director Alberto Pertuz

## ABSTRACT

**TITLE:** DESIGN AND CONSTRUCTION OF A WATER DISTILLER FOR LABORATORY WITH COOLING OF WASTE WATER BY REFRIGERATION TO BE REUSED\*

**AUTHOR:** CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO\*\*

**KEY WORDS:** DESIGN, CONSTRUCTION, DISTILLER, COOLING TOWER, WATER SAVING.

### DESCRIPTION:

Laboratory distillers separate water from other components with different boiling points, thus increasing its purity, which gives the water properties such as lower conductivity and makes it more useful as a solvent or reagent. Available distillation equipment uses water at room temperature as a cooling fluid in condensation and then does not reuse it, so 8 or more times the volume of distilled water is discarded.

In order to save water in the UIS Chemistry Laboratories, a distiller was designed and built with a parallel system that cools and reuses the water needed for condensation in a cyclical manner. The alternative for cooling the waste water that was implemented was an induced draft tower due to its low cost and easy maintenance, among other requirements.

The equipment was developed in 304 gauge 18 stainless steel and has a 3 kw immersion resistance, a 45 w submersible pump and a 60 w axial extractor among other components. The manufacturing cost was 14.9 MCOP and the operating cost for average values in the city of Bucaramanga is 2933 pesos per hour, very similar to other distillers on the market.

The tests carried out on the Distiller – Tower set showed a distillation capacity of 3.95 lph, a value very close to and admissible with respect to the requirement of 4 lph. The water temperature in the cooling tower stabilized at 35 degrees Celsius, low enough to condense. Water quality tests showed a conductivity of 0.097 micro Siemens per meter, a pH of 7.15, as well as a measurement of other minerals with combined values less than 1 milligram per liter, all within the requirements of ISO 3696.

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director Alberto Pertuz

## 1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El agua previamente tratada debido a sus características y propiedades es usada en campos que abarcan desde la medicina, los procesos industriales, laboratorios, entre otros. “Uno de los reactivos más comunes y considerado como disolvente universal es el agua, por lo tanto, es de vital importancia cuidar su pureza” (VALDIVIA, Rodes. PEDRO, Sandra y LAUREL, Maylin, 2010, p. 3). Dentro de los métodos para purificarla se encuentra la osmosis inversa, la deionización, el filtrado y la destilación. Este último consiste en hervir el agua y condensarla nuevamente separándola de los componentes que tienen diferente punto de ebullición.

Los destiladores para laboratorio que se pueden conseguir en el mercado utilizan como método de condensación la convección forzada de agua, estos equipos gastan entre 7 y 10 litros de agua de enfriamiento por cada litro destilado. Este líquido se reutiliza de manera parcial para el destilado, y el restante sale directamente al desagüe, lo que genera un alto consumo de este recurso hídrico.

Para evitar este gasto un destilador puede usar un sistema de refrigeración, enfriando el agua de desecho y reutilizándola de manera completa. Esto puede realizarse conectando en paralelo un serpentín / ventilador, un chiller industrial, una torre de enfriamiento u otro sistema que disipe el calor al ambiente y permita el uso cíclico del agua refrigerante. Por estas razones, la Escuela de Química de la Universidad Industrial de Santander está interesada en financiar el diseño y construcción de un destilador de agua para sus laboratorios con enfriamiento del agua de desecho por refrigeración para ser reutilizada.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un destilador de agua para laboratorio con enfriamiento del agua de desecho por refrigeración para ser reutilizada.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ❖ Realizar el diseño conceptual del destilador con capacidad de destilado de 4 litros por hora, calidad del agua grado 3 según norma ISO 3696, ebullición a condiciones menores de 115 grados Celsius y 1 atm de presión, además, plantear alternativas para el enfriamiento del agua de desecho con la finalidad de seleccionar la mejor usando una matriz QFD.
- ❖ Establecer el diseño de detalle a partir de cálculos de transferencia de calor en el evaporador, condensador y el sistema de enfriamiento de agua donde se definan variables físicas, dimensiones y materiales, realizar los planos de los elementos mecánicos y estructurales con el software de modelado SolidWorks y elaborar flujogramas de los procesos de mecanizado de cada componente y del ensamblado con el fin de obtener toda la documentación necesaria para la fabricación.
- ❖ Construir el destilador usando las piezas mecanizadas o seleccionadas de catálogo y elaborar un manual de operación y mantenimiento con el propósito de entregar el equipo a los Laboratorios de la Escuela de Química y reducir los grandes volúmenes de agua que requieren los destiladores actuales.
- ❖ Validar los parámetros de funcionamiento estipulados con el equipo diseñado donde se mida la capacidad de producción por hora, la temperatura del vapor de agua y la calidad o pureza del destilado.

### **3 JUSTIFICACIÓN**

Desarrollar un destilador de agua para laboratorio con un método de condensación por refrigeración donde el calor se disipe al ambiente permite evitar el gasto de grandes volúmenes de agua refrigerante. Esto es importante debido a que el agua es un recurso vital para la vida humana, así como para la fauna y flora de la región. El uso que se le da a este recurso hídrico debe gestionarse de manera responsable, es por ello por lo que, desde la legislación nacional se insta a ahorrar y usar el agua de forma eficiente (DECRETO No 1090 de 2018).

La importancia en el ahorro del agua radica en la disponibilidad de este fluido. Los embalses que abastecen los acueductos se nutren de las lluvias y esto implica un problema en épocas de sequías. Los bajos niveles de agua en los embalses traen de la mano importantes medidas de racionamiento que afectan gravemente la economía local, además del riesgo sanitario y humanitario que implica la falta de agua.

Los destiladores usados actualmente en la Escuela de Química, así como en otros laboratorios e industrias del país, son traídos mayoritariamente desde Estados Unidos, Europa e incluso China, lo que conlleva un aumento en el costo de adquisición del producto debido al transporte e impuestos. El diseño y construcción de un destilador de agua para laboratorio con capacidad de producción continua de 4 litros por hora puede ayudar a fomentar el desarrollo técnico e industrial de estos equipos en la región.

## **4 MARCO TEÓRICO**

### **4.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS**

A nivel nacional e internacional se han desarrollado destiladores con métodos de condensación que evitan o reducen el alto gasto de agua como fluido refrigerante:

CARRILLO, Mayra y QUIGUIRÍ, Jhonny (2011) construyeron un destilador de agua para el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador. Este equipo cuenta con un tanque de 60 litros de agua refrigerante que se hace pasar por el condensador con el uso de una bomba y vuelve nuevamente al tanque para ser reutilizada. Este sistema ahorra agua, pero tiene la desventaja de que no permite destilar de forma continua, únicamente se puede trabajar por ciclos y así dar tiempo a que el refrigerante se enfríe.

CHAMAT, Celger y ROMERO, Gabriel (2018) desarrollaron un prototipo de destilador electrónico automatizado para los Laboratorios de Ciencias Naturales Químicas de la Universidad Popular del Cesar, Colombia. Con el fin de ahorrar agua, el prototipo cuenta con un sistema de enfriamiento que contiene un tanque de almacenamiento, una electrobomba y un radiador compuesto por una celda Peltier, un disipador de aluminio y un ventilador. Este destilador cuenta con un control de temperatura a través de una termocupla tipo K y tiene una capacidad de destilado menor a 1 litro por hora.

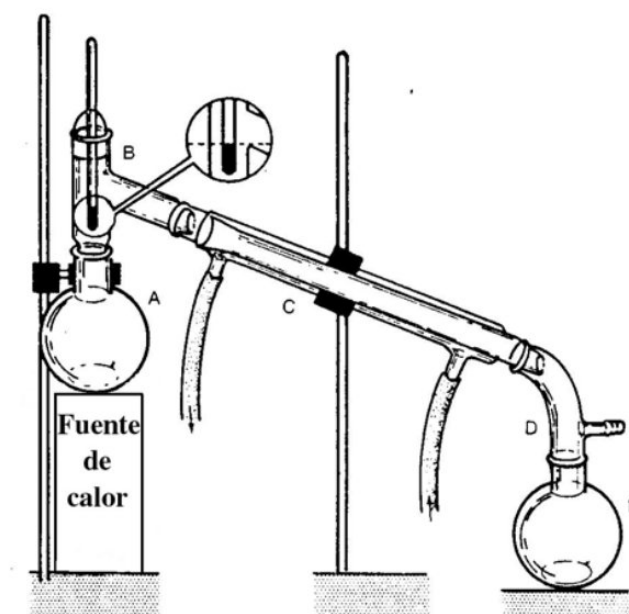
ALLAUCA, William y ARMENDÁRIZ, Adonis (2023) implementaron un destilador de agua para el Laboratorio de la Agroindustria de la Universidad técnica de Cotopaxi, Ecuador. El método escogido para la condensación fue con el uso de un serpentín y un ventilador, es decir, convección forzada de aire. De esta manera, se usa energía eléctrica y no se requiere agua refrigerante. El destilador tiene una capacidad de producción de hasta 3.2 litros por hora y la calidad del agua cumple con la norma ISO 3696 de 1987.

## 4.2 REFERENTES TEÓRICOS

### 4.2.1 Destilación

“La separación de un disolvente de una disolución que contiene un soluto no volátil se puede hacer mediante una destilación sencilla” (LALINDE, Elena y MORENO, Teresa, 2010, p. 43). El proceso de destilación simple mostrado en la Figura 4.1 consiste en un matraz A con la solución que se quiere separar sometida a una fuente de calor (evaporador), luego el vapor pasa por un intercambiador de calor C (condensador) para finalmente ser recolectado en otro matraz E en forma líquida donde el solvente queda libre de los solutos con punto de ebullición más elevado.

Figura 4.1 Proceso de destilación



Fuente: LALINDE, Elena y MORENO, teresa (2010).

### 4.2.2 Pureza del agua destilada

El agua destilada es usada en laboratorios de química debido a que esta se encuentra libre de algunos metales, pirógenos y contaminantes lo que la vuelve útil como reactivo químico y como disolvente. Para ello se requiere una calidad de agua para laboratorio

dada por la norma ISO 3696 de 1987, las características que debe cumplir se muestran en la Tabla 1.

Tabla 4.1 Requerimientos de calidad del agua

Parámetro	Grado 1	Grado 2	Grado 3
pH a 25°C, Rango aceptado.	No aplica	No aplica	5,0 a 7,5
Conductividad eléctrica mS/m a 25°C, Max.	0,01	0,1	0,5
Materia oxidable mg/l, Max.	No aplica	0,08	0,4
Absorbancia, Max.	0,001	0,01	No específico
Residuo después de la evaporación a 110°C mg/kg, Max.	No aplica	1	2
Contenido de sílice (SiO <sub>2</sub> ) mg/l, Max.	0,01	0,02	No específico

Fuente: Traducido de la norma ISO 3696 de 1987

La pureza grado 3 se puede obtener a partir de la destilación simple, deionización u osmosis inversa, mientras que las calidades 2 y 1 requieren la combinación de dos o más de estas técnicas e incluso pueden requerir el filtrado de membrana como lo explica la norma.

#### 4.2.3 Evaporador

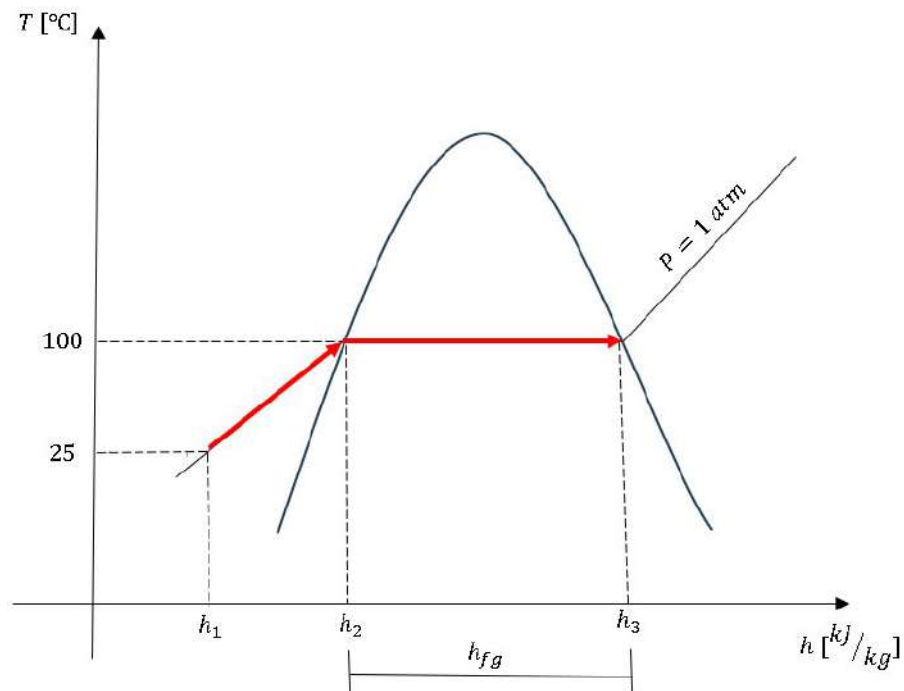
La energía necesaria para evaporar el agua que se quiere destilar se ve bien representada en un diagrama T-h. Esta se encuentra dividida en dos tramos, la entalpía necesaria para elevar la temperatura de 25 a 100 grados Celsius, y la requerida para el cambio de fase, como se muestra en la Figura 4.2. Este proceso se asume isobárico al existir salida a la presión atmosférica.

La potencia necesaria para calentar el agua se puede determinar a partir de la Ecuación 1, esta se deriva de la suma de las entalpías en el proceso 1-2 y 2-3.

$$\dot{q} = \dot{m} [(h_2 - h_1) + h_{fg}] \quad (1)$$

Donde  $\dot{m}$  es el flujo másico de destilado, mientras que,  $h_1$ ,  $h_2$  y  $h_{fg}$  representan las entalpías a temperatura ambiente, de saturación y de cambio de fase como se muestra en la Figura 4.2.

Figura 4.2 Proceso de ebullición en diagrama T-h



#### 4.2.4 Condensador

Consiste en un intercambiador de calor donde otro fluido se lleva suficiente energía para generar un cambio de fase en el vapor. La longitud y por consiguiente el tamaño del condensador se puede obtener con la Ecuación 2.

$$\dot{q} = FUA_s \Delta T_{ml} \quad (2)$$

El valor de  $\dot{q}$  representa la potencia necesaria para la condensación,  $A_s$  es el área superficial de contacto,  $\Delta T_{ml}$  es la diferencia de temperatura media logarítmica y el coeficiente total de transferencia de calor  $U$  se determina con la Ecuación 3 obtenida en el libro de transferencia de calor de Cengel (2007, p. 617).

$$\frac{1}{UA_s} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R_i}{A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k L} + \frac{R_o}{A_o} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (3)$$

Donde  $h$  son los coeficientes de convección,  $R$  son los factores de incrustación,  $K$  es el coeficiente de conducción del material,  $L$  la longitud,  $A$  el área de contacto y  $D$  los diámetros interno y externo denominados con los subíndices  $i$  y  $o$ , respectivamente.

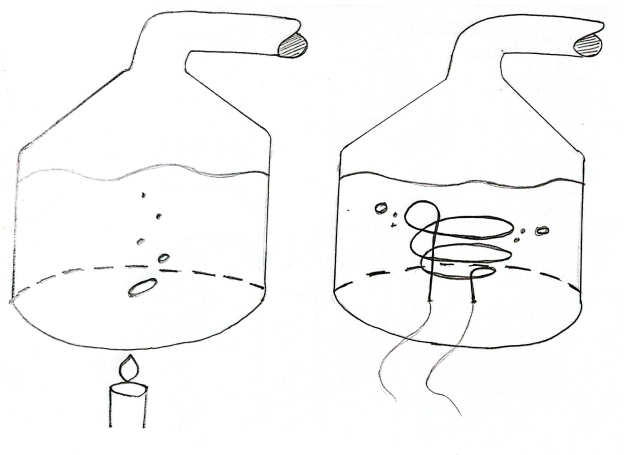
## 5 DISEÑO DE CONCEPTO

El sistema de destilación con enfriamiento se compone principalmente de tres elementos fundamentales, evaporador, condensador y sistema de enfriamiento.

### 5.1 ALTERNATIVAS CONCEPTUALES PARA EL EVAPORADOR

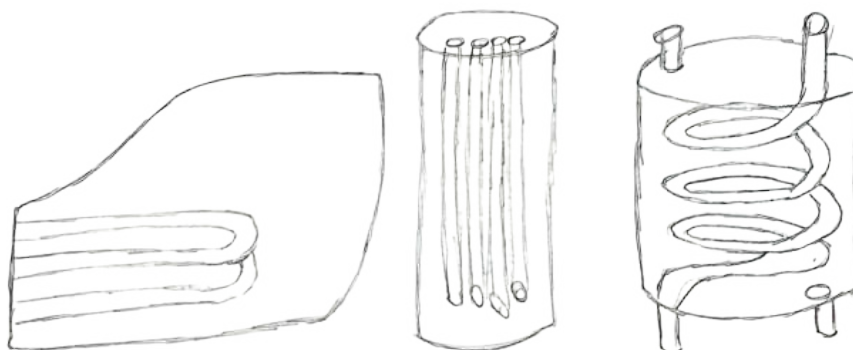
Al proponer diferentes alternativas para calentar y evaporar agua como el uso de Gas Natural, la Escuela de Química solicitó que este se hiciera con una Resistencia Térmica de Inmersión. Este sistema es con el que cuentan los demás destiladores y es el que resulta más seguro para un equipo de laboratorio.

Figura 5.1 Alternativas para el evaporador



### 5.2 ALTERNATIVAS CONCEPTUALES PARA EL CONDENSADOR

Figura 5.1 Alternativas para el condensador



Para el condensador se selecciona un sistema en espiral por sobre otros modelos como el tipo kettler o el vertical debido a su reducido tamaño, además de que este es el comunmente usador para destiladores de laboratorio. Se decide que el vapor a condensar vaya por dentro del tubo y el agua de enfriamiento por el casco para hacer así mas sencillo el contacto y aumentar la transferencia de calor.

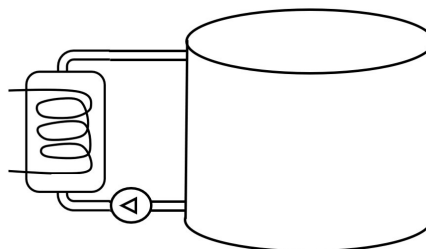
### **5.3 ALTERNATIVAS CONCEPTUALES SISTEMA DE ENFRIAMIENTO**

Se plantearon diferentes alternativas para el enfriamiento del agua de desecho por refrigeración con el fin de reutilizarla de manera cíclica, estas son usar un tanque de agua, un serpentín / ventilador, un chiller industrial y una torre de enfriamiento.

#### **5.3.1 Tanque de agua**

En este sistema el agua refrigerante está almacenada en un tanque y es propulsada a través de una bomba para forzarla a pasar por el condensador. El tanque permite condensar una cantidad determinada hasta que el agua está suficientemente caliente y resulta necesario detener el trabajo y dejar enfriar por convección natural. Cuenta con la ventaja de ser muy económico, silencioso, así como de fabricación y mantenimiento muy sencillo, pero ocupa un gran espacio, es menos eficiente a medida que pasan los minutos y no permite destilar de forma continua.

Figura 5.1 Tanque de agua

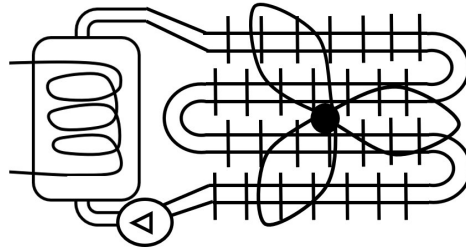


#### **5.3.2 Serpentín / ventilador**

En este sistema el agua refrigerante se enfría pasando por un serpentín con aletas que permiten una mayor transferencia de calor hacia el aire mientras este es forzado por un ventilador, lo que genera ruido. La principal ventaja de esta alternativa es que no ocupa

mucho espacio, sin embargo, su manufactura y mantenimiento es complicada debido a la cantidad de aletas que deben fijarse al serpentín. Su eficiencia no es muy alta a pesar de las aletas si se compara con la torre o el chiller y el costo de su fabricación es medio pues el serpentín no se puede seleccionar, debe fabricarse a medida.

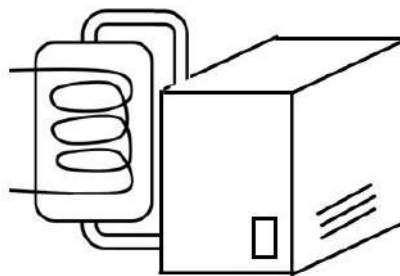
Figura 5.2 Serpentín / ventilador



### 5.3.3 Chiller industrial

En este sistema el agua refrigerante una vez sale del intercambiador pasa por un enfriador industrial donde entrega calor a un refrigerante 134a impulsado por un compresor en un ciclo de refrigeración, lo que lo hace bastante eficiente. El chiller cuenta con una bomba internamente para recircular el agua a través del condensador. Sus principales ventajas son que no ocupa mucho espacio y que se puede seleccionar, por lo que no debe ser construido, sin embargo, cuenta con mantenimiento más complejo que las otras alternativas, su costo es alto y debe traerse desde otras ciudades como Bogotá, además de que cuenta con el ruido del compresor.

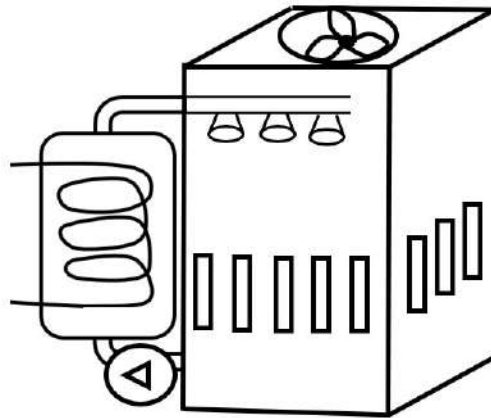
Figura 5.3 Chiller industrial



### 5.3.4 Torre de enfriamiento

En este sistema el agua refrigerante es enfriada en una torre con aspersores que generan un contacto con aire inducido por un extractor en la parte superior, lo que genera ruido. El agua refrigerante es impulsada por una bomba a través del condensador externo para volver nuevamente a la torre. La principal ventaja de esta alternativa es su fácil mantenimiento, la buena eficiencia debido al contacto directo entre los fluidos y que no ocupa mucho espacio, sin embargo, tiene un coste algo alto porque el relleno y los aspersores no se consiguen en la ciudad, además de que no es posible seleccionar una torre pequeña sino debe fabricarse a medida.

Figura 5.4 Torre de enfriamiento



### 5.4 MATRIZ QFD

Para el desarrollo de la matriz mostrada en la Figura 5.5, se consultaron los requerimientos dados desde la escuela de química, y se les dio una ponderación de importancia de 1 a 5, siendo 1 poco importante y 5 muy importante. Luego, se hizo una relación con los parámetros de diseño donde ▲, ■ y ▼ definen una correlación alta media y baja con valores de 5, 3 y 1, respectivamente, esto con el fin de definir % de relevancia. Luego, se compararon las diferentes alternativas dando un valor de 1 a 5, donde 1 es un bajo y 5 un alto cumplimiento de cada requerimiento, para finalmente multiplicar ese valor con la ponderación y hacer una sumatoria que defina cual alternativa tiene mayor puntaje.

Figura 5.1 Matriz QFD

		Ponderación	Parámetros diseño				Alternativas					
			Material	Capacidad de enfriamiento	Confiabilidad	Bomba centrífuga	Peso	Dimensiones	Tanque de agua	Serpentín / Ventilador	Chiller industrial	Torre de enfriamiento
Requerimientos laboratorio	Trabajo continuo	5		▲	▲	■		1	5	5	5	
	Ruido bajo	3		▲		▼		5	2	2	2	
	Mantenimiento sencillo	3	▼		▼		■	5	2	2	4	
	Bajo costo operación	5		▲	■	▲		5	4	2	4	
	Bajo costo fabricación	2	▲	▲	▲	▼	▼	■	5	3	2	3
	Eficiente	4		■	▲			1	2	4	4	
	Poco espacio	3		▼			■	▲	1	5	5	4
Ab			17	29	30	11	7	15	77	86	82	97
Re			16%	27%	28%	10%	6%	14%				

La alternativa que mejor se adaptó a los requerimientos fue la torre de enfriamiento.

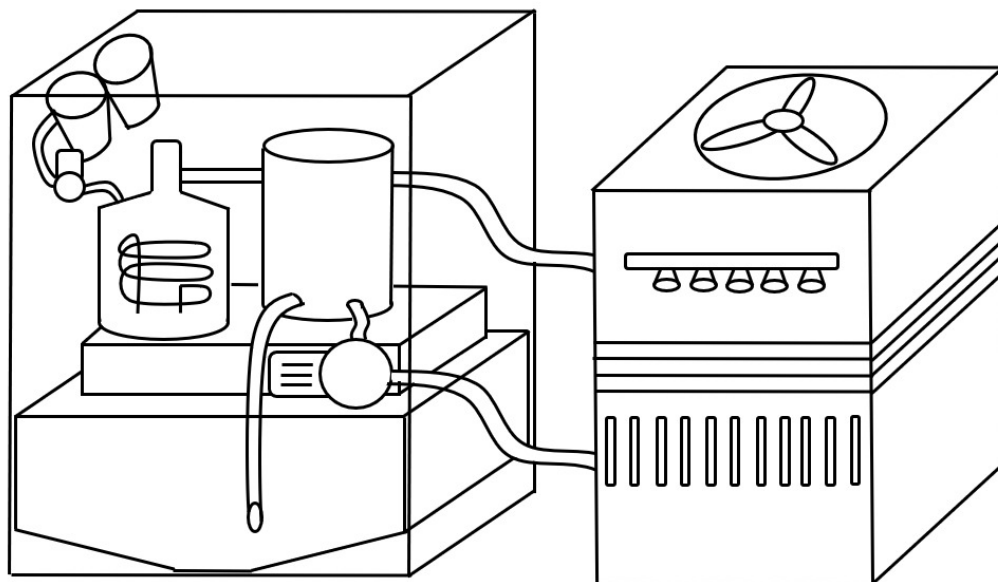
## 5.5 ESQUEMA CONCEPTUAL RESULTANTE

En la Figura 8 se presenta el boceto resultante del diseño conceptual, y en él se muestran los principales componentes que lo conforman, así como la organización espacial del ensamblaje.

El agua para destilar pasará inicialmente por un filtro micrométrico que eliminará parte de la materia sólida, luego, este fluido se evaporará con una resistencia térmica de inmersión. El vapor de agua cambiará nuevamente de estado al pasar por el condensador y terminará almacenándose finalmente en un tanque de destilado. Todo el destilador estará contenido en una cubierta o armazón con el fin de facilitar su transporte y mantener a los diferentes componentes apartados de los estudiantes y demás personal que transite

por el laboratorio. Al mismo tiempo el agua refrigerante estará recirculando de manera cíclica al pasar por el condensador y ser enfriada por la torre de enfriamiento.

Figura 5.1 Diseño de concepto



## 6 DISEÑO DE DETALLE

### 6.1 CALDERA O EVAPORADOR

La resistencia térmica de inmersión del evaporador debe proporcionar energía al agua a temperatura ambiente y llevarla hasta la temperatura de cambio de fase para generar vapor de agua a razón de 4 litros por hora y todo ello a presión atmosférica.

Temperatura inicial (promedio en Bucaramanga)  $T_1 = 27.3 [^{\circ}C] = 300.45 [K]$

Temperatura final (ebullición a 1000 msnm)  $T_2 = 96 [^{\circ}C] = 369.15 [K]$

Caudal de destilado

$$\dot{V} = 4 \left[ \frac{L}{h} \right] * \left( \frac{1 [m^3]}{1000 [L]} \right) * \left( \frac{1 [h]}{3600 [s]} \right) = 1.11 \times 10^{-6} \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

Tomando los valores de la tabla A-5, del libro de termodinámica se obtienen las entalpías y la densidad.

$$h_1 = 104\,830 \left[ \frac{J}{kg} \right]; h_2 = 419\,170 \left[ \frac{J}{kg} \right]; h_{fg} = 2\,256\,500 \left[ \frac{J}{kg} \right]; \rho = 996 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

Potencia de la resistencia térmica de inmersión

$$\dot{W}_R = \rho * \dot{V} * [(h_2 - h_1) + h_{fg}]$$

$$\dot{W}_R = 996 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] 1.11 \times 10^{-6} \left[ \frac{m^3}{s} \right] \left[ \left( 419\,170 \left[ \frac{J}{kg} \right] - 104\,830 \left[ \frac{J}{kg} \right] \right) + 2\,256\,500 \left[ \frac{J}{kg} \right] \right]$$

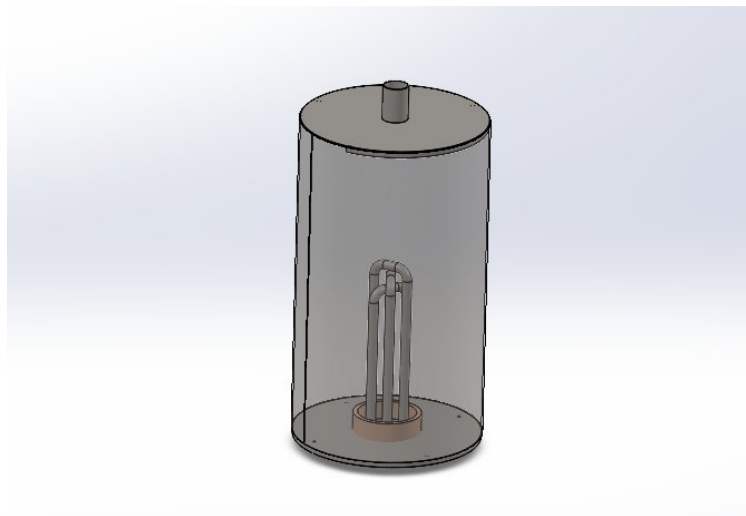
$$\dot{W}_R = 2\,842.2 [w]$$

Por lo que finalmente se selecciona una resistencia térmica de inmersión de 3000 vatios de 15 cm de largo, que es un 5.26% mayor por posibles ineficiencias, además, esta potencia es la más usada en destiladores de esta capacidad.

El evaporador de forma cilíndrica debe contener al menos 4 litros de agua en todo momento. Asumiendo un diámetro de 16 cm su altura da como resultado 20 cm, dejando un espacio para el vapor de agua la altura final fue de 28 cm.

$$L = \frac{V}{A} = \frac{4 [L] * \left(\frac{1 [m^3]}{1000 [L]}\right)}{\frac{1}{4} \pi (0.16 [m])^2} = 0.2 [m]$$

Figura 6.1 Modelo evaporador

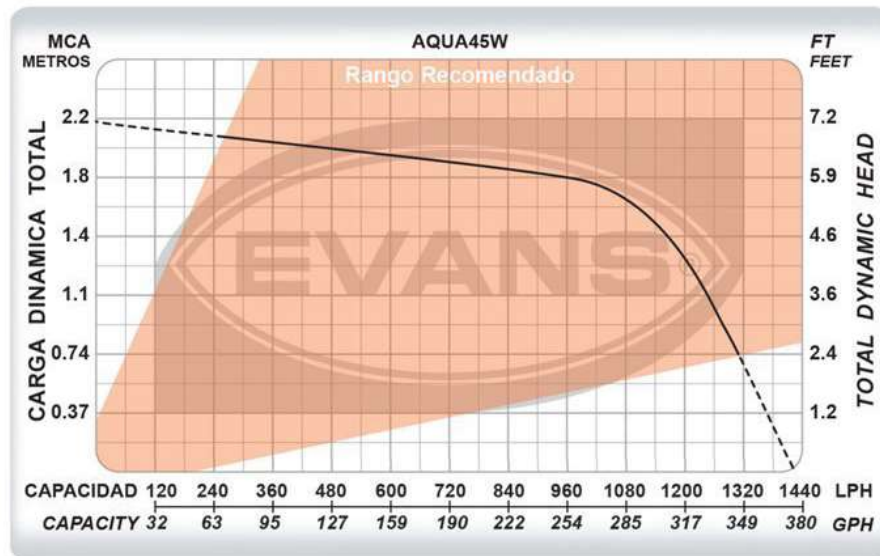


## 6.2 SELECCIÓN DE LA BOMBA

Para la selección de la bomba se optó por sumergibles usadas comúnmente en fuentes pues éstas tienen pequeñas prestaciones y manejan potencias bajas (45, 60 vatios) en comparación con las periféricas y centrifugas cuya menor potencia es de 1/2 hp (373 vatios).

La bomba debe mover el agua de enfriamiento desde el tanque de la torre hasta los aspersores ubicados 0.4 metros más arriba, pasando por el condensador. Como la distancia que debe elevar la bomba el fluido es muy pequeña, se evalúa una bomba sumergible de 45 vatios con capacidad de elevación de 2.2 metros. La relación entre la altura de agua (MCA) y el caudal se muestran en esta gráfica:

Figura 6.1 Altura vs caudal de la bomba



Teniendo en cuenta que el fluido pasa por tubos PVC de 0.5 pulgadas o 0.0127 metros se convierte esta gráfica a MCA vs Velocidad.

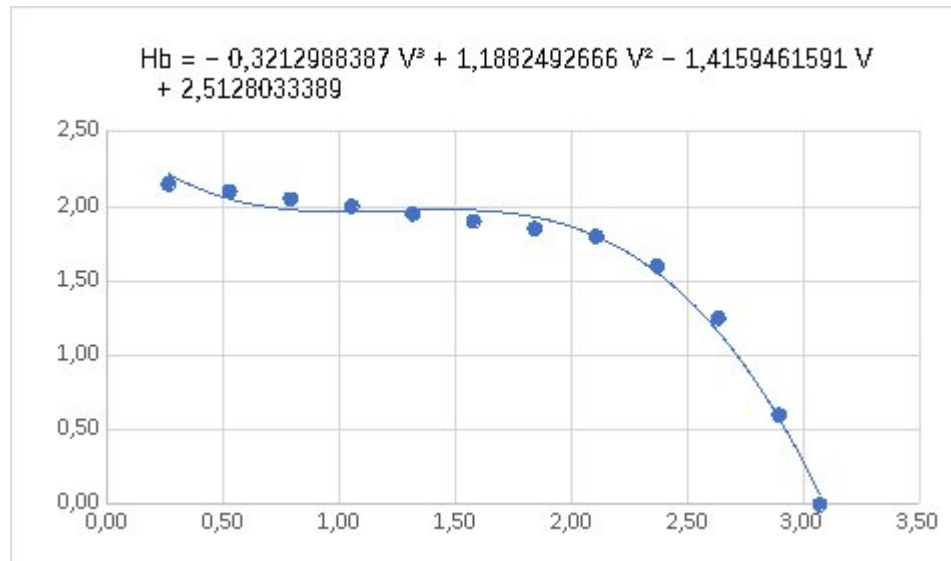
$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q_{lph} * \left( \frac{1 [m^3]}{1000 [L]} \right) * \left( \frac{1 [h]}{3600 [s]} \right)}{\frac{\pi}{4} * (0.0127 [m])^2}$$

Tabla 6.1 Caudal, velocidad y altura de la bomba

Q [lph]	V [m/s]	Hb [m]
120	0,26	2,15
240	0,53	2,10
360	0,79	2,05
480	1,05	2,00
600	1,32	1,95
720	1,58	1,90
840	1,84	1,85
960	2,11	1,80
1080	2,37	1,60
1200	2,63	1,25
1320	2,89	0,60
1400	3,07	0

Lo que da como resultado la siguiente relación entre altura y velocidad

Figura 6.2 Hb vs V



Energía de la bomba en términos de altura

$$H_b = \frac{\Delta P}{\gamma} + \Delta Z + \left(1 + f \frac{L}{d} + K\right) \frac{(\Delta V)^2}{2g}$$

El factor de fricción se puede obtener

$$f = \frac{0.25}{\text{Log}^2 \left( \frac{e}{3.7d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)}$$

Donde e es la rugosidad del material de la tubería, en el caso del PVC el este valor corresponde a 0.0015 mm y Re es el número de Reynolds que se calcula así:

$$Re = \frac{\rho * V * d}{\mu}$$

Teniendo en cuenta valores para el agua líquida a 30 grados Celsius en los anexos del libro de transferencia de calor se obtiene la siguiente densidad y viscosidad.

$$\rho = 1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]; \mu = 0.798 \times 10^{-3} \left[ \frac{kg}{m \cdot s} \right]$$

Reemplazando en las ecuaciones anteriores y teniendo en cuenta que las pérdidas en accesorios corresponden a cuatro codos (0.81), una entrada (0.78) y salida (1) al condensador, se obtiene este sistema 4x4

$$Re = \frac{1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * V * 0.0127[m]}{0.798 \times 10^{-3} \left[ \frac{kg}{m \cdot s} \right]}$$

$$f = \frac{0.25}{\text{Log}^2 \left( \frac{0.0015 [mm]}{3.7 * 12.7 [mm]} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)}$$

$$H_b = 0.4 [m] + (1 + f * \frac{1.4 [m]}{0.0127 [m]} + (4 * 0.81 + 1 + 0.78)) \frac{V^2}{2 * (9.8 \left[ \frac{m}{s^2} \right])}$$

$$H_b = -0.32V^3 + 1.19V^2 - 1.42V + 2.51$$

Se resuelve el sistema 4x4 con el programa EES en el anexo 12.4 y las soluciones son:

$$f = 0.024 ; H_b = 1.925 [m] ; Re = 29667 ; V = 1.864 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Como las ecuaciones convergieron en una solución, la bomba que se preseleccionó cumple con el funcionamiento, ya que existe un valor de caudal que cumple con la cabeza de energía Hb requerida.

Caudal del agua de enfriamiento

$$Q = VA = 1.864 \left[ \frac{m}{s} \right] * \frac{\pi}{4} (0.0127 [m])^2 = 2.36 \times 10^{-4} \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

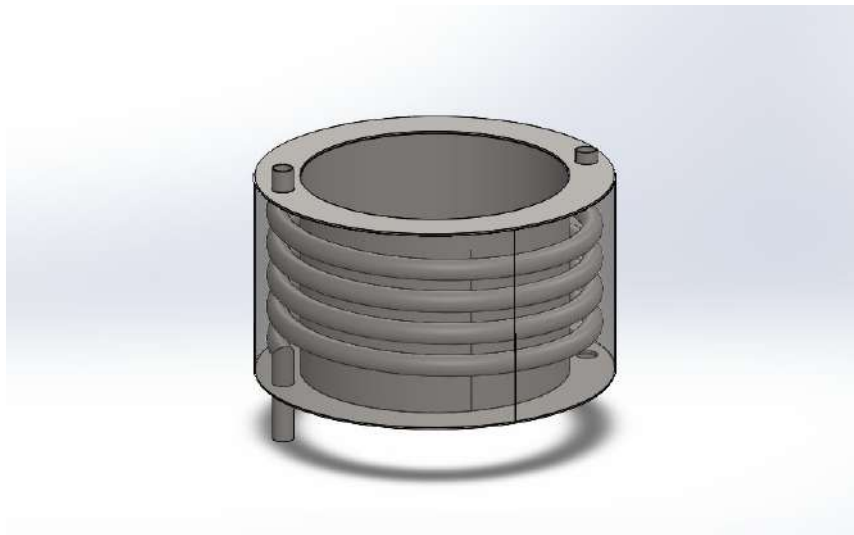
Finalmente la bomba seleccionada es la sumergible Acua45 de Evans.

### 6.3 CONDENSADOR

Se selecciona un diámetro para el tubo interno de 3/4" debido a que uno menor puede dificultar la salida del vapor u obstruirse con incrustaciones. Al consultar en dobladoras de tubos de la ciudad de Bucaramanga el diámetro mínimo con el que es posible embobinar ese tubo de acero inoxidable es de 28 cm. El menor grosor que este puede tener es el Calibre 18 (1.3 mm), tubos más delgados pueden aplastarse y deformarse con las maquinas dobladoras que cuentan estos talleres.

Teniendo en cuenta en cuenta lo anterior, se diseña el casco del destilador como un cilindro hueco con diámetros interno y externo de 24 y 32 cm, respectivamente. Donde el vapor a condensar irá por el tubo interno, y el agua de enfriamiento por el casco.

Figura 6.3 Modelo condensador



Rapidez de la transferencia de calor por el casco asumiendo una temperatura de entrada ambiente a 27 grados Celsius o 300 Kelvin

$$\dot{q} = \rho_o * Q_o * Cp_o * (T_{c,sal} - T_{c,ent})$$

$$3\,000 [w] = 1\,000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 2.36 \times 10^{-4} \left[ \frac{m^3}{s} \right] * 4181 \left[ \frac{J}{kg * K} \right] * (T_{c,sal} - 300 [K])$$

$$T_{c,sal} = 303 [K]$$

Para el cálculo del coeficiente por el casco se tiene en cuenta una sección anular de 24 y 32 cm, además de un banco de tubos de 3/4" con un paso 3 cm alineados.

Velocidad en la sección anular

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{2.36 \times 10^{-4} \left[ \frac{m^3}{s} \right]}{\frac{\pi}{4} [(0.32 [m])^2 - (0.24 [m])^2]} = 0.0067 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$V_{max} = \frac{St}{St - D} V = \frac{3 [cm]}{3 [cm] - 1.9 [cm]} * 0.0067$$

$$V_{max} = 0.018 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Número de Reynolds por el casco

$$Re_o = \frac{\rho_o * V_{max} * d_o}{\mu_o}$$

$$Re_o = \frac{1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 0.018 \left[ \frac{m}{s} \right] * 0.01905 [m]}{0.798 \times 10^{-3} \left[ \frac{kg}{m * s} \right]} = 430$$

Número de Prant por el casco a temperatura de 30 grados celcius y tambien a temperatura de superficie asumida en un promedio de 65 grados Celsius según tabla A-9 del libro de transferencia de calor de Cengel (2007, p. 854)

$$Pr_o = 5.42 \quad ; \quad Pr_s = 2.75$$

Ecuación del coeficiente de convección forzada externa en banco de tubos horizontales de sección circular obtenida en el libro de Cengel (2007, p. 419)

$$h_o = \frac{K_o}{D_o} F Nu_o = \frac{K_o}{D_o} F 0.52 Re_o^{0.5} Pr_o^{0.36} \left( \frac{Pr_o}{Pr_s} \right)^{0.25}$$

Teniendo en cuenta un factor de corrección F para 4 tubos alineados de 0.9

$$h_o = \frac{0.615 \left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]}{0.01905 [m]} (0.9 * 0.52(430)^{0.5} (5.42)^{0.36} \left( \frac{5.42}{2.75} \right)^{0.25}) = 682.13 \left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]$$

$$h_o = 682.13 \left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Ecuación del coeficiente de convección para la condensación en tubos internos obtenida en el libro de Cengel (2007, p. 591)

$$h_i = 0.555 \left[ \frac{g \rho_l (\rho_l - \rho_v) k_l^3}{\mu_l (T_{sat} - T_s) D_i} \left( h_{fg} + \frac{3}{8} C_{pl} (T_{sat} - T_s) \right) \right]^{1/4}$$

$$h_i = 0.555 \left[ \frac{9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right] 957.9 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \left( 957.9 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] - 0.5978 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \right) \left( 0.679 \left[ \frac{W}{mK} \right] \right)^3}{0.282 \times 10^{-3} \left[ \frac{kg}{ms} \right] [(373 [K] - 338 [K]) * 0.01905 [m]]} (2256400 \left[ \frac{J}{kg} \right] + \frac{3}{8} 4184 \left[ \frac{J}{kgK} \right] (373 [K] - 338 [K])) \right]^{1/4}$$

$$h_i = 7595.66 \left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Ecuación para el coeficiente global de transferencia de calor U obtenida en el libro de Cengel (2007, p. 617) si  $A_s = A_i = A_o$ , asumiendo valores de factores de incrustaciones promedio obtenidos en la misma página.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + R_i + R_o + \frac{1}{h_o}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{7595.66 \left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]} + 0.0002 \left[ \frac{m^2 * K}{W} \right] + 0.0001 \left[ \frac{m^2 * K}{W} \right] + \frac{1}{682.13 \left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]}$$

$$U = 526.96 \left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{h,ent} - T_{c,sal}) - (T_{h,sal} - T_{c,ent})}{\ln \left( \frac{T_{h,ent} - T_{c,sal}}{T_{h,sal} - T_{c,ent}} \right)}$$

$$\Delta T_{ml} = \left( \frac{(373 [K] - 302[K]) - (313 [K] - 300 [K])}{\ln\left(\frac{373 [K] - 302 [K]}{313 [K] - 300 [K]}\right)} \right) = 35.34 [K]$$

$$\dot{q} = F * U * A_s * \Delta T_{ml}$$

$$3\,000 [w] = 0.8 * 526.96 \left[ \frac{w}{m^2 * K} \right] * \pi * 0.01905 [m] * L * 35.34 [K]$$

$$L = 3.36 [m]$$

Número de vueltas en la bobina

$$\#vueltas = \frac{3.36 [m]}{\pi * (0.28 [m])} = 3.8$$

Por tal motivo se escogen 4 vueltas y media en el tubo interno del condensador, así el punto de entrada y salida son opuestos.

#### 6.4 SELECCIÓN DEL EXTRACTOR

El balance de energía en la torre de enfriamiento es igual a cero porque la energía dentro sistema se mantiene constante en el tiempo.

$$E_{ent} - E_{sal} = \frac{dE}{dt} = 0$$

Despreciando la energía del extractor

$$(\rho_3 * Q_3 * Cp_3 * T_3 + \dot{m}_a * Cp_a * T_1 + m_{v1} * h_{g1}) - (\rho_4 * Q_4 * Cp_4 * T_4 + \dot{m}_a * Cp_a * T_2 + m_{v2} * h_{g2}) = 0$$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{W}_R}{Cp_a(T_2 - T_1) + (w_2 * h_{g2} - w_1 * h_{g1}) + h_f * (w_2 - w_1)}$$

Donde los coeficientes 1, 2, 3 y 4 hacen referencia a la entrada de aire, salida de aire, entrada de agua y salida de agua de la torre de enfriamiento, respectivamente.

Las presiones de vapor de agua asumiendo una temperatura inicial y final de 25 y 35, respectivamente según el anexo del libro de transferencia de calor de cengel es:

$$Pg_1 = 3.170 \text{ [kPa]}; Pg_2 = 4.240 \text{ [kPa]}$$

Calculo de las humedades de entrada y salida del aire asumiendo una humedad relativa en ambos casos de un 70% para que el cálculo y selección del extractor sea más conservador

$$w_1 = \frac{0.622 \phi_1 Pg_1}{P - \phi_1 Pg_1} = \frac{0.622 * 0.7 * 3.170 \text{ [kPa]}}{107.325 \text{ [kPa]} - 0.7 * 3.170 \text{ [kPa]}} = 0.014$$

$$w_2 = \frac{0.622 \phi_2 Pg_2}{P - \phi_2 Pg_2} = \frac{0.622 * 0.7 * 4.246 \text{ [kPa]}}{107.325 \text{ [kPa]} - 0.7 * 4.246 \text{ [kPa]}} = 0.019$$

Reemplazando valores

$$\dot{m}_a = \frac{3 \text{ [kw]}}{1.007 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} (300 \text{ [K]} - 298 \text{ [K]}) + \left( 0.019 * 2591 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 0.014 * 2547 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) + 419 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} (0.019 - 0.014)}$$

$$\dot{m}_a = 0.17 \text{ kg/s}$$

En términos de caudal

$$V_a = \frac{\dot{m}_a}{\rho} = \frac{0.17 \text{ [kg/s]}}{1.17 \text{ [kg/m}^3\text{]}} = 0.15 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Se selecciona un Extractor de 8" de la marca EnergINN debido a que está completamente protegido contra la humedad y el agua, además de que cuenta con un caudal de  $0.243 \text{ [m}^3\text{/s]}$ , lo que da como resultado un factor de potencia de 1.6.

## 6.5 SELECCIÓN DE MATERIALES

Los destiladores de agua para laboratorio deben estar contruidos a partir de materiales que soporten una temperatura de alrededor de 100 grados Celsius, además de contaminar el agua en la menor cantidad posible. Los materiales usados comúnmente para estos equipos son:

Vidrio de borosilicato:

Es un tipo particular de vidrio con óxidos de silicio y boro que le brindan una mayor durabilidad, así como resistencia calórica y química. Sin embargo, este material requiere un proceso complejo para ser formado, por lo que se restringe al uso de piezas fabricadas, además, no es libre de contaminantes por su contenido en sílice.

Acero inoxidable:

Es una aleación de acero con otros materiales como el cromo, molibdeno, níquel y tungsteno que le brindan protección contra la oxidación y corrosión, manteniendo muchas de las características propias del acero como su resistencia. Este material es fácil de mecanizar, sin embargo, no es económico y tampoco está libre de contaminantes.

Debido a sus características, el material más adecuado será el acero inoxidable, concretamente el grado 304 debido a que es acero usado en aplicaciones sanitarias. Este material se encuentra en láminas de diferentes espesores, así que debe escogerse un espesor que sea suficientemente delgado para dejarse doblar con precisión, y suficientemente grueso para dejarse soldar herméticamente. El calibre más apropiado será el C-18 (1.3 mm) consultando los talleres de doblado, rolado y soldado de acero de la ciudad de Bucaramanga.

## **6.6 SELECCIÓN DEL TIPO DE SOLDADURA**

Los tipos de soldadura usados para trabajar el acero inoxidable en la ciudad de Bucaramanga son la soldadura MIG con electrodo E309L-16 y la soldadura TIG con argón. Para el proyecto la recomendación recibida al consultar en metalmecánicas de la ciudad es que la soldadura TIG es preferible para trabajar con lámina delgada como es la Calibre 18, es más demorado el proceso, pero la unión es mucho más precisa.

## **6.7 DISEÑO ELÉCTRICO**

Diseño del circuito de potencia:

Los laboratorios de la Escuela de Química cuentan con conexión eléctrica de 110 y 220 voltios. La tensión más adecuada será a 220 V para así reducir la corriente y el tamaño de los componentes.

La resistencia térmica de inmersión se puede fabricar a 220V, sin embargo, el extractor axial y la bomba sumergible seleccionadas trabajan a 110V por lo que deben conectarse estos últimos dos componentes en serie y así dividir la tensión.

Diseño del circuito de control:

Se requiere un sistema que llene automáticamente el nivel de agua en el evaporador y en la torre manteniendo el nivel y protegiendo la resistencia y la bomba para no trabajar sin agua. Por tal motivo se plantea un sistema con relés, electroválvulas e interruptores flotadores como se muestra en la Figura 6.2. Además, se incorporan un led testigo de color verde para indicar el encendido del destilador, y otro de color naranja para indicar cuando está trabajando la resistencia.

La suma de las potencias eléctricas de la resistencia, el extractor, la bomba y demás componentes no superan los 3200 W, por tal motivo, la corriente máxima de trabajo será de 14.54 A. El calibre seleccionado será el número 12 AWG que soporta corrientes de hasta 25 A, generando así un factor de seguridad de 1.72.

$$I = \frac{P}{V} = \frac{3200 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 14.54 \text{ A}$$

Finalmente se selecciona un interruptor termomagnético de 16 A que proteja los componentes de sobretensiones y cortocircuitos, además de un interruptor diferencial de 25 A que, en conjunto con la conexión a tierra, brinda una protección contra fugas de corriente y riesgo eléctrico en los operadores del laboratorio.

Figura 6.4 Diagrama de tuberías e instrumentos

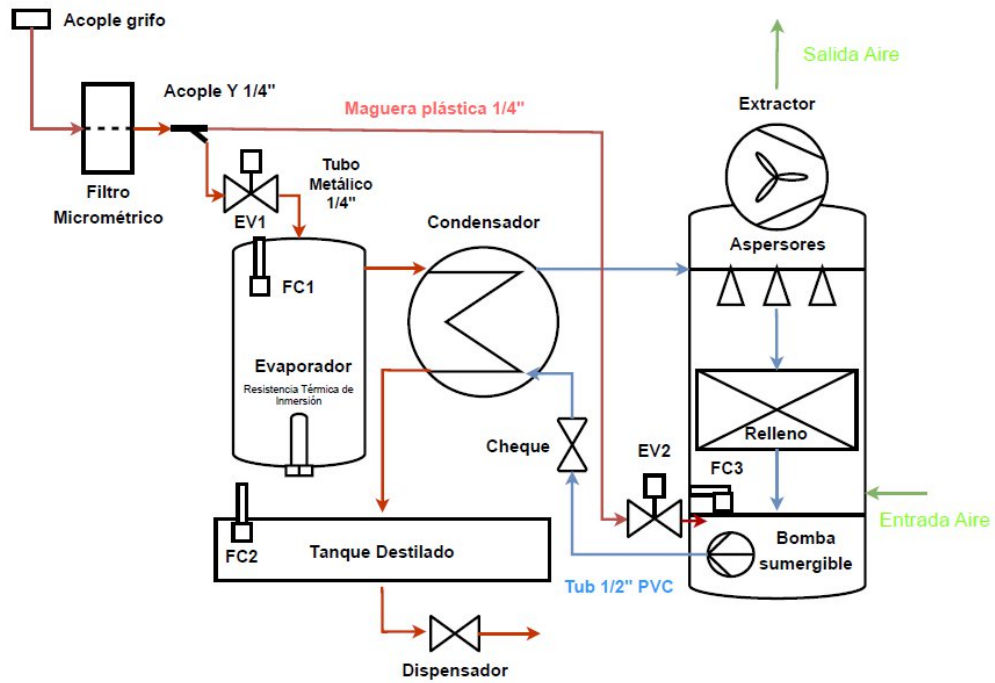
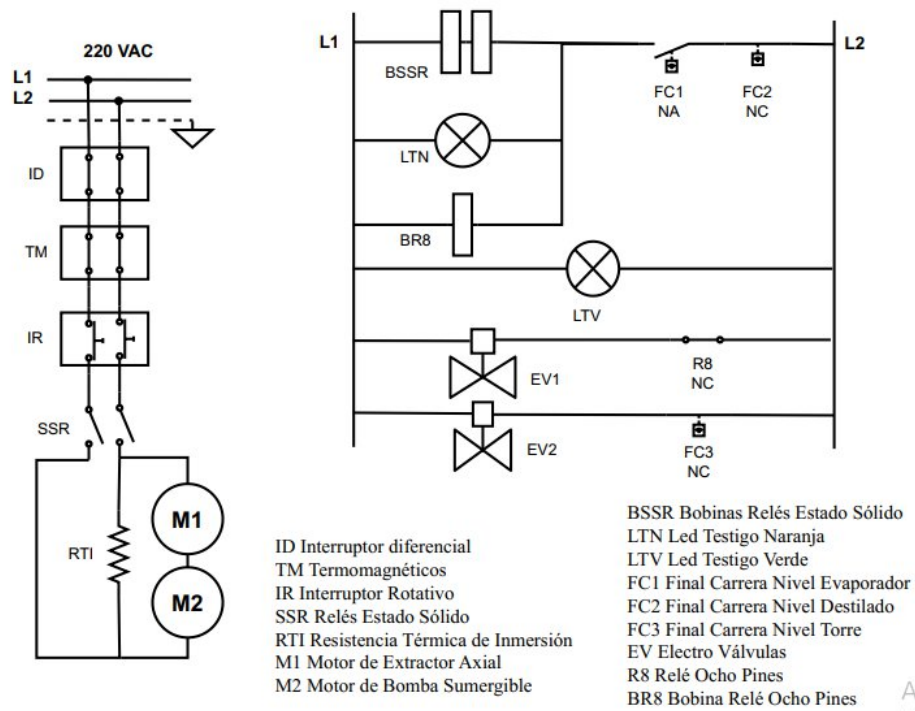


Figura 6.5 Diagrama eléctrico



Activa  
Ve a Coi

Filosofía de control:

FC1 es un interruptor de nivel (final de carrera) ubicado en el evaporador.

FC2 es un interruptor de nivel ubicado en el tanque de destilado.

FC3 es un interruptor de nivel ubicado en el tanque de la torre de enfriamiento.

EV1 es la electroválvula que llena el evaporador

EV2 es la electroválvula que llena el tanque de la torre de enfriamiento

Cuando FC1 está abajo EV1 se abre y comienza a llenar el evaporador. Por el contrario, cuando FC1 está arriba EV1 se cierra y termina el llenado.

Cuando FC1 está arriba, se enciende el sistema de potencia a través de los SSR encendiéndose la resistencia térmica de inmersión, el extractor y la bomba.

Cuando FC2 esta arriba, da la señal de que el tanque de destilado está lleno y el sistema de potencia se apaga completamente.

Cuando FC3 está abajo la electroválvula EV2 se abre y comienza a llenar el tanque de la torre. Por el contrario, cuando FC3 está arriba EV2 se cierra y termina el llenado.

## **6.8 PARTES Y COMPONENTES DEL DESTILADOR**

A continuación se muestran los componentes eléctricos, las piezas metálicas y demás componentes del conjunto Destilador – Torre de enfriamiento.

Figura 6.6 Componentes eléctricos

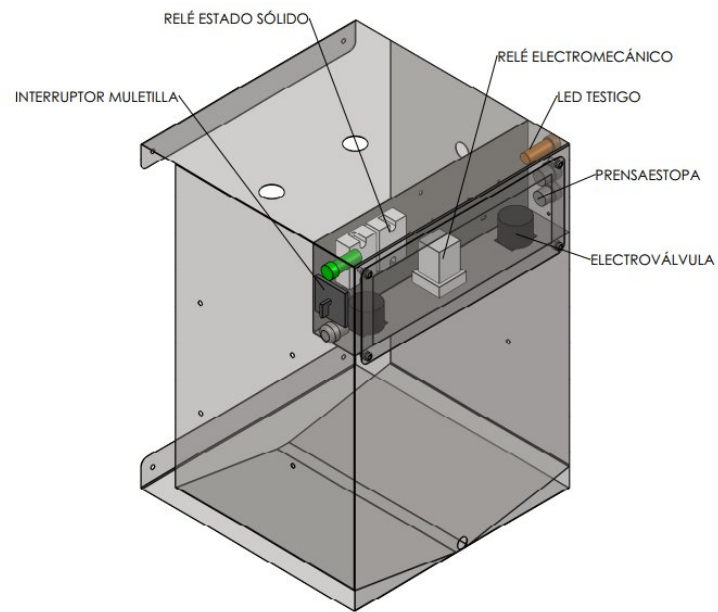


Figura 6.7 Partes metálicas

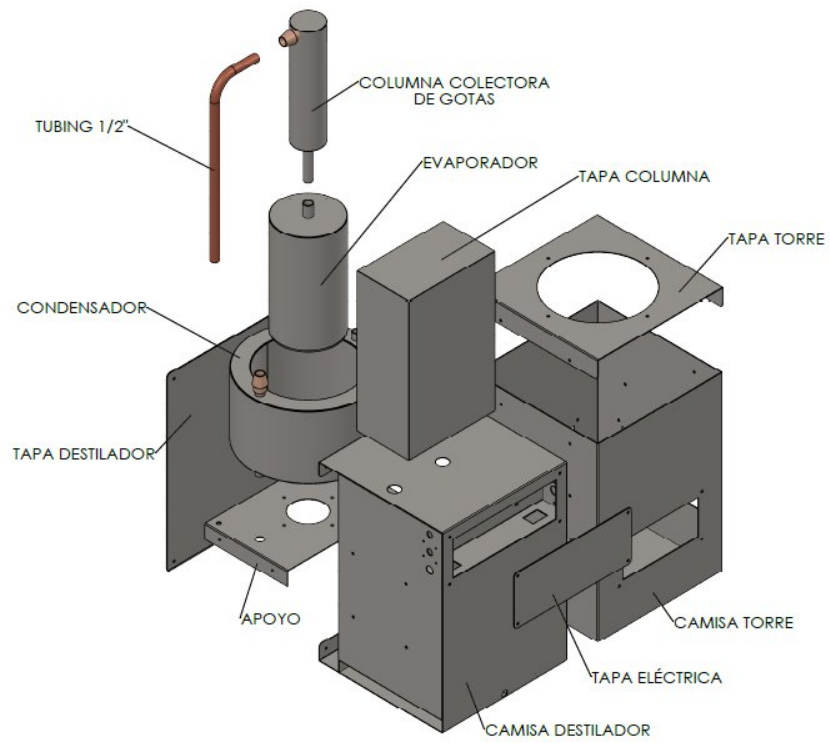
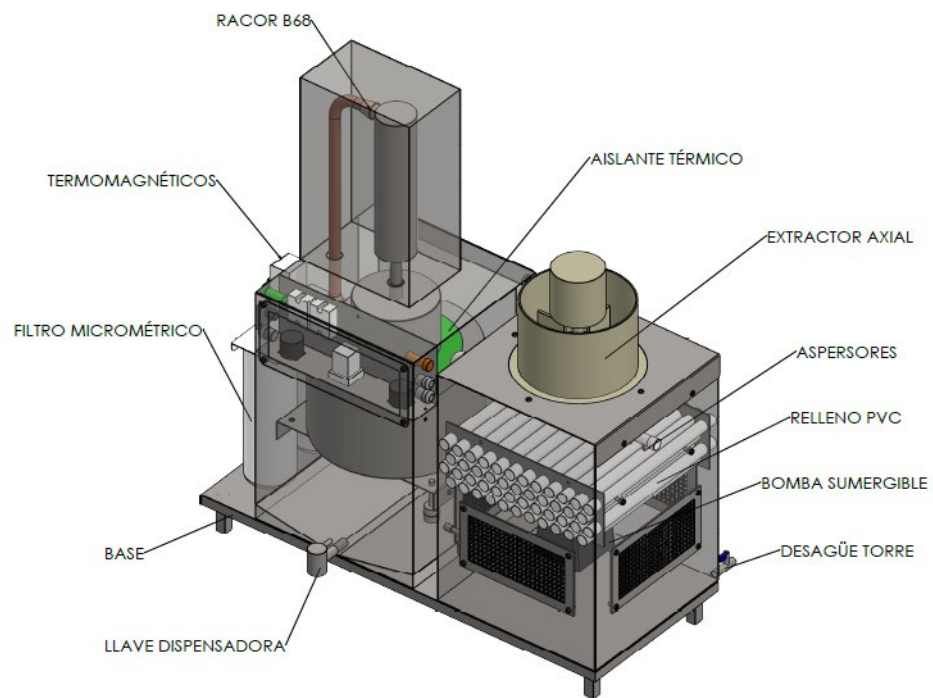


Figura 6.8 Componentes



## 7 CONSTRUCCIÓN

### 7.1 ADQUISICIÓN DE PIEZAS

Primeramente, se realizó la adquisición de las piezas seleccionadas en el diseño de detalle con el fin de verificar sus dimensiones antes de hacer el corte de la lámina y así evitar errores en el mecanizado.

Figura 7.1 Piezas de destilador



### 7.2 CORTE, DOBLADO Y SOLDADO

Las piezas desarrolladas en chapa metálica se fabricaron a partir de dos láminas de acero inoxidable grado 304 de 4x8 pies por corte laser CNC en la empresa Perfosander con el dibujo en formato .dxf mostrado en la figura. Los dobleces y enrolados también se realizaron en este mismo establecimiento según se muestra en los planos de desarrollos mostrados en el anexo 13.2

Las piezas fueron soldadas con argón por la empresa constructora IMB montajes e ingeniería según lo establecido en los planos de ensamblaje y soldadura del Anexo 13.2. Se realizaron longitudes no mayores a 5 cm por vez, para dar tiempo a que el material se enfríe y así evitar que la lámina se doble o tuerza. El evaporador, condensador, destilador y torre de enfriamiento mostrados en la Figura 7.3, se soldaron y se comprobó su hermeticidad, es decir, que no hubiera ninguna fuga de agua.

Figura 7.1 Dibujo para corte de lámina

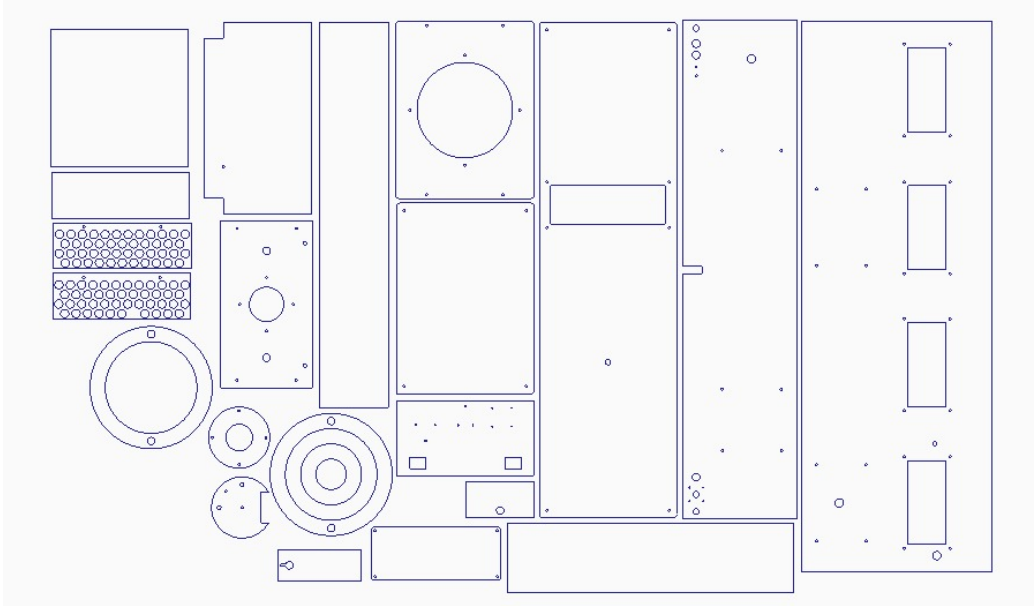


Figura 7.2 Piezas soldadas



### 7.3 MONTAJE DEL EQUIPO

Se ensamblaron las piezas según se indica en los planos mostrados en el anexo 12.2 con el uso de tornillería en acero inoxidable 304. Para ellos se usaron dos dimensiones en los tornillos, los primeros de diámetro nominal 3/16" como pasadores con tuerca, además de otros de 1/4" para las tapas y partes exteriores donde es imposible ajustar una tuerca interna. En ese último caso se abrió una rosca a la lámina con un macho del mismo diámetro.

Para reducir la transferencia de calor desde el evaporador al condensador y demás partes del destilador, se aisló con 5 centímetros de fibra de vidrio compacta, y se realizó la conexión de los sensores y demás componentes del sistema de control mostrados en la figura 7.4.

Figura 7.1 Ensamblaje del evaporador



También se realizaron las conexiones de tuberías establecidas en el diagrama P&ID incluyendo las mangueras que pasan por las electroválvulas como se muestra en la Figura 7.5. La manguera usada para alimentar el evaporador y la torre de enfriamiento fue una manguera neumática azul de 1/4" debido a su flexibilidad y alta resistencia a la presión. La conexión al evaporador se realizó con tubo de cobre del mismo diámetro por su capacidad para resistir altas temperaturas.

Figura 7.2 Conexión de mangueras



Se ensamblaron los dos componentes principales en la torre de enfriamiento, la bomba sumergible conectada a tubería, y el relleno hecho a partir de un banco de tubos PVC de 1/2" que retrasa la caída del agua de los aspersores como se muestra en la Figura 7.6.

Luego de realizadas algunas pruebas se decidió añadir cuatro pestañas en la entrada de aire para evitar la caída de gotas por fuera de la torre de enfriamiento.

Figura 7.3 Ensamblaje torre de enfriamiento



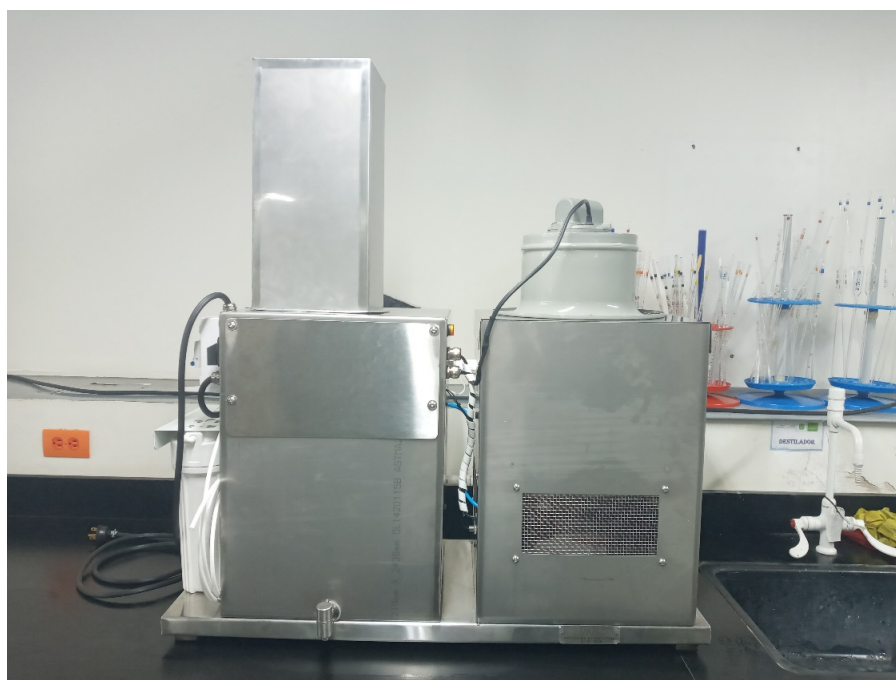
Finalmente se instaló la columna colectora de gotas como se muestra en la Figura 7.7. Esta columna contiene internamente maras separadas por malla en acero inoxidable y asegura que al condensador entre únicamente vapor en estado de saturación. De esta manera la separación del agua de sus demás componentes en la destilación se realiza de manera completa.

Figura 7.4 Ensamblaje columna y otras piezas



Una vez terminado el ensamblaje y verificado su funcionamiento el equipo de destilación fue llevado a la Escuela de Química como se muestra en la Figura 7.7 para realizar la instalación en el sitio y hacer unas ultimas verificaciones mostradas en el capítulo de la validación.

Figura 7.5 Conjunto Destilador - Torre de enfriamiento



Finalmente se corta con laser una rejilla en la tapa de la sección eléctrica y se implementa un ventilador de 12 cm para generar corrientes de aire y permitir la correcta disipación de calor en los elementos eléctricos.



## 8 VALIDACIÓN

### 8.1 CAPACIDAD DE DESTILADO

Los destiladores registran un valor más bajo de su capacidad en los primeros minutos de operación debido a que apenas está aumentando la temperatura en el evaporador. Por este motivo, se midió el volumen de agua destilada que el equipo produce en tres ocasiones, pero todas ellas luego de media hora de encendido el equipo. La medición se realizó recogiendo el agua producida en una hora en unos recipientes de vidrio con niveles de volumen y los resultados se presentan en la Tabla. Este valor representa un porcentaje de error de 0.5% respecto de los requerimientos por lo que se encuentra dentro de los valores admisibles.

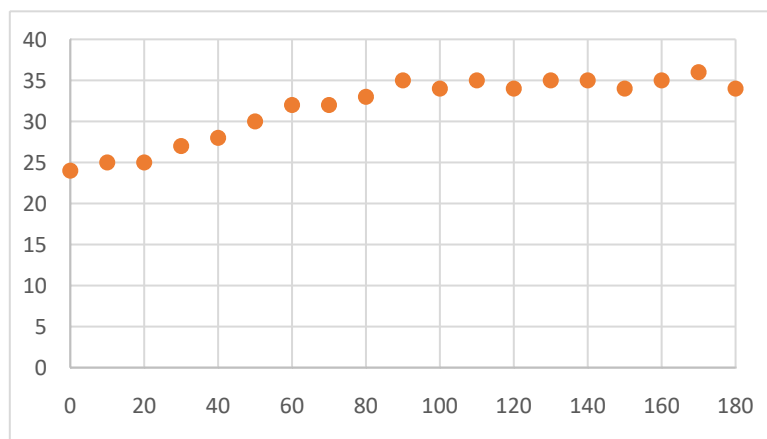
Tabla 8.1 Mediciones capacidad de destilado

Medición	Producción [L/h]
1	3,98
2	3,94
3	4,02
Promedio	3,98

### 8.2 TEMPERATURA DE ESTABILIZACIÓN DEL AGUA EN LA TORRE

Se midió la temperatura del agua de enfriamiento en la base de la torre con un pirómetro digital y una termocupla tipo k durante tres horas luego de iniciada la destilación. Los valores mostrados en la Figura 8.1 señalan una temperatura de estabilización de alrededor de 35 grados Celsius, suficientemente frío para la condensación.

Figura 8.1 Temperatura grados Celsius vs Tiempo minutos



### 8.3 CALIDAD DEL AGUA

El análisis de la calidad del agua de la Figura realizado por la Escuela de Química, registra una conductividad de  $0.97 \mu S/cm$  o  $0.097 mS/m$ , este valor se encuentra por debajo del máximo admisible de  $0.5 mS/m$ . El Ph registrado fue de 7.15, este valor se encuentra dentro de la horquilla de 5 a 7,5. Además, la cantidad de carbono, sodio, cloruros y sílices registra una suma total de  $654 \mu g/L$ , todo ello dentro de los valores admisibles por la norma ISO 3696 de 1987.

Figura 8.1 Análisis de agua destilada

Tabla 1. Resultados de ensayos			
Parámetro	Método	Resultado	Unidades
<b>Análisis Físicoquímico</b>			
Conductividad Eléctrica	Conductivimétrico, SM 2510 B	0,97	$\mu S/cm$
Resistividad Eléctrica	Cálculo	1,03	$M\Omega \cdot cm$
pH <sup>1</sup>	Potenciométrico, SM 4500-H <sup>1</sup> B	7,15	Und. pH
Carbono Orgánico Total	Espectrofotométrico UV-Vis, SM 5310 C	186	$\mu g C/L$
Sodio	Absorción Atómica, SM 3111 B	9,1	$\mu g Na/L$
Cloruros	Argentométrico, SM 4500-Cl B	8,9	$\mu g Cl/L$
Silice Total	Espectrofotométrico	450	$\mu g SiO_2/L$
<b>Análisis Microbiológicos</b>			
Recuento de Heterótrofos	Filtración por membrana, SM 9222 J	0	UFC/100 ml
Coliformes Totales	Filtración por membrana, SM 9222 J	0	UFC/100 ml
<i>Escherichia coli</i>	Filtración por membrana, SM 9222 J	0	UFC/100 ml

<sup>1</sup> Temperatura de la lectura de pH: 25.0°C

## 9 ANÁLISIS DE COSTOS

Los costos totales del conjunto Destilador – Torre de enfriamiento incluyen el costo del trabajo del diseñador, la fabricación además de costos operativos como el consumo de recursos y el mantenimiento.

### 9.1 COSTOS DE FABRICACIÓN

El costo de construcción se presenta en la Tabla 9.1 por un valor de 12.5 M COP que, teniendo en cuenta el IVA, da como resultado 14,875 M COP.

Tabla 9.1 Costos de fabricación

	Componente	Marca	Modelo	#	Valor [COP]
Metálicos	Pernos, tuercas y arandelas A-304	-	1/4" Inox	30	65.000
	Láminas A-304	-	3/16" Inox	30	65.000
	Tubing A-304	-	4x8' C-18	2	1.450.000
	Niveladoras AISI 304	-	10' 3/4" C-18	1	70.000
	Dispensadora A-304	Bkinpid	5/8"	4	32.000
	Llave globo A-304	-	3/8"	1	110.000
	Niple A-304	-	12 cm 1/2"	1	75.000
	Unión a niple A-304	-	1/2"	1	15.000
	Tubo redondo A-304	-	1' 3" C-18	1	10.000
	Tubing cobre	-	1m 1/4"	1	20.000
	Racores bronce	-	B68 1/4" R1/8"	1	10.000
	Válvula Check	Grival	Vertical 1/2"	2	12.000
	Filtro micrométrico	Grival	797435551	1	40.000
	Plásticos	Tubos PVC	Pavco	3m S-40 1/2"	7
Codos 90 y tapon PVC		Pavco	S-40 1/2"	6	77.000
Unión universal PVC		Pavco	S-40 1/2"	6	8.000
Adaptador roscado		Pavco	S-40 1/2"	3	27.000
Unión rosacada		Pavco	S-40 1/2"	3	9.000
Aspersores		Monojet	360 grados	1	10.000
Acoples filtro		-	Plast 1/4"	10	5.000
Manguera neumática		-	2m 1/4"	10	84.000
Cinta Teflón		-	1,5 cm	1	12.000
Tapones caucho		-	1/4"	1	8.000
Aislante	-	2 m2	1	75.000	

Eléctricos	Bomba sumergible	Evans	AQUA45W	1	160.000	
	Extractor axial	EnergINN	2CC2204-1F	1	610.000	
	Resistencia de inmersión	-	3KW	1	230.000	
	Clavija	-	250 V 15 A	1	25.000	
	Termomagnéticos y caja	CHNT	NB1-63-C16	1	36.000	
	Diferencial y caja	CHNT	25 A - 220 V		150.000	
	Interruptor muletilla	Voltio	2P 20A	1	40.000	
	Leds testigo	EBCHQ	AD22-22DS	2	14.000	
	Relés estado sólido	Xurui	XSSR-AA2425W1	2	110.000	
	Sensores de nivel	-	M10 Acero 304	4	320.000	
	Prensa estopa	PG13,5	Acero 304	5	45.000	
	Pirómetro digital	Precision	Rex C100	1	110.000	
	Relé	-	8 Pines	1	40.000	
	Termocupla	-	Tipo J B-Largo	2	80.000	
	Electroválvulas	AirControl	2W-025-08	2	150.000	
	Cable encauchetado	-	6m 3x12 AWG	1	72.000	
	Cable siliconado	-	2m 14 AWG	1	8.000	
	Termoencogible	-	10 mm	1	8.000	
	Trabajos	Cortado y doblado		Perfosander		850.000
		Embobinado		Dobladora AG		150.000
Mecanizado roscas					160.000	
Soldado y ensamblado					3.000.000	
Beneficio Empresa		IMB	Montajes e ingeniería		3.055.000	
Trasportes e imprevistos					500.000	
				<b>Total:</b>	<b>12.500.000</b>	

## 9.2 COSTOS DE OPERACIÓN

El consumo de potencia eléctrica de la resistencia térmica de inmersión, extractor axial, bomba sumergible, electroválvulas, leds testigos y relés es de alrededor de 3150 W mientras que la potencia de otros destiladores de su misma capacidad es de 3000 W. Por otro lado, el consumo de agua del conjunto destilador torre es de 4 L/h, mientras que el

consumo de agua en otros destiladores de esta capacidad es 36 L/h (4 destilados y 32 usados en condensación).

Los costos promedio para la ciudad de Bucaramanga son  $3070 \frac{COP}{m^3}$  y  $936 \frac{COP}{kWh}$  según datos del acueducto y electrificadora, respectivamente

Costos del conjunto destilador - torre de enfriamiento

Costo eléctrico por hora:

$$C_E = 3,12 kW * 936 \frac{COP}{kWh} = 2920.32 \frac{COP}{h}$$

Costo en agua por hora:

$$C_A = 3070 \frac{COP}{m^3} * 4 \frac{L}{h} * \left( \frac{1 m^3}{1000 L} \right) = 12.28 \frac{COP}{h}$$

Costo total por hora:

$$C_T = 2995.2 \frac{COP}{h} + 12.28 \frac{COP}{h} = 2932.60 \frac{COP}{h}$$

Costos de otros destiladores de la misma capacidad

Costo eléctrico por hora:

$$C_E = 3 kW * 936 \frac{COP}{kWh} = 2808.00 \frac{COP}{h}$$

Costo en agua por hora:

$$C_A = 3070 \frac{COP}{m^3} * 36 \frac{L}{h} * \left( \frac{1 m^3}{1000 L} \right) = 110.52 \frac{COP}{h}$$

Costo total por hora:

$$C_T = 2995.2 \frac{COP}{h} + 12.28 \frac{COP}{h} = 2918.52 \frac{COP}{h}$$

La diferencia en el costo de operación es de un 0.5% por lo que es practicante el mismo gasto de operación. Teniendo en cuenta un trabajo por 5 horas al día durante 20 días por mes, se estima un costo anual así:

$$C_T = 2932.60 \frac{COP}{h} = 3.519.120 \frac{COP}{año}$$

La Tabla 9.2 presenta los costos anuales de mantenimiento donde se incluyen inspecciones, limpiezas, cambios además de un porcentaje de su costo de fabricación como posible mantenimiento correctivo.

Tabla 9.2 Costos de mantenimiento

Rutinas	COP/año
Inspecciones y limpiezas	260.000
Cambio de cartuchos filtros	210.000
Mantenimiento correctivo (2%)	300.000
<b>Total</b>	<b>770.000</b>

### 9.3 COSTOS TOTALES

Tabla 9.3 Costos totales

Costos de venta	COP
Diseño	3.000.000
Fabricación	15.000.000
<b>Total</b>	<b>18.000.000</b>
Costos de operación	COP/año
Recursos	3.520.000
Mantenimiento	770.000
<b>Total</b>	<b>4.290.000</b>

La Tabla 9.3 presenta los costos totales de diseño y fabricación del equipo, así como los costos operativos por año.

Teniendo en cuenta que los destiladores para laboratorio provenientes de china, usa o europa tienen precios en colombia superiores a los 20 millones de pesos se estima este como un buen valor de venta y así aprovechar ese margen de mercado.

## 10 CONCLUSIONES

La alternativa para la reutilización de agua por la que se optó fue una torre de enfriamiento debido a su bajo costo de fabricación y operación, fácil mantenimiento, buena eficiencia y trabajo continuo en comparación con las otras alternativas como se muestra en el análisis de Matriz QFD.

El equipo de destilación registró una capacidad de producción de agua destilada de 3.98 L/h lo que refleja un porcentaje de error del 0.5% respecto del requerimiento de 4 L/h, encontrándose dentro de un error admisible.

Al analizarse el agua destilada se obtuvieron las siguientes características, una conductividad de 0.097 micro Siemens por metro, un PH de 7.15, así como, una medición de otros minerales con valores combinados menores a 1 miligramo por litro, por lo que cumple con la clasificación de pureza grado 3 según norma ISO 3696 de 1987.

El conjunto Destilador – Torre de enfriamiento permite ahorrar agua al enfriar y reutilizar este fluido que pasa por el condensador teniendo consumos muy mínimos de agua de reposición. Este sistema es mucho más ahorrador que en otros destiladores disponibles a la venta que no cuentan con un sistema de refrigeración y registran gastos de agua de enfriamiento de 32 litros o más por hora.

El costo de operación del equipo de destilación fue de \$2932.60 COP/h, valor muy similar a los \$2918.52 COP/h aproximados que requieren otros destiladores teniendo en cuenta valores de energía y agua promedio en la ciudad de Bucaramanga.

El costo de fabricación del conjunto destilador / torre de enfriamiento fue de \$14.9M COP y se estima un valor para la venta de alrededor de 20M COP.

## 11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLAUCA, William y ARMENDÁRIZ, Adonis. Implementación de un destilador de agua destilada para el Laboratorio de la agroindustria de la Universidad técnica de Cotopaxi extensión La Maná. Ecuador. 2023.

<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10180>

CARRILLO, Mayra y QUIGUIRÍ, Jhonny. Construcción de un destilador para la implementación del Laboratorio de operaciones unitarias en la Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 2011.

<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/392>

CENGEL, Yunus. Transferencia de calor y masa. Tercera edición. 2007.

[https://uis.primo.exlibrisgroup.com/permalink/57UIDS\\_INST/1f3hrt6/alma991001120519707671](https://uis.primo.exlibrisgroup.com/permalink/57UIDS_INST/1f3hrt6/alma991001120519707671)

CHAMAT, Celger y ROMERO, Gabriel. Desarrollo de un prototipo de destilador electrónico automatizado para los Laboratorios de ciencias naturales químicas. Universidad Popular del Cesar. Valledupar, Colombia. 2018.

<https://revistas.sena.edu.co/index.php/RINDECOMM/article/view/4344>

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Water for analytical laboratory use. Specification and test methods. (Num. 3696). 1987.

<https://www.iso.org/standard/9169.html>

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use - Part 1: General requirements. (Num. 61010-1). 2010.

<https://webstore.iec.ch/publication/4279>

LALINDE, Elena. y MORENO, Teresa. Operaciones básicas de laboratorio. Universidad de La Rioja. Logroño, España. 2010.

<https://www.unirioja.es/dptos/dq/docencia/material/obl/>

PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. Decreto 1090. Por el cual se adiciona el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua y se dictan otras disposiciones. 2018.


<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87181>

VALDIVIA, Rodes. PEDRO, Sandra y LAUREL, Maylin. Agua para uso en laboratorios. Instituto Nacional de Investigaciones en metrología. La Habana, Cuba. 2010.

<https://www.redalyc.org/pdf/2230/223017807002.pdf>

## 12 ANEXOS

### Anexo A Pruebas de pureza de agua

 <b>LQCI</b> Laboratorio Químico de Consultas Industriales	Laboratorio Químico de Consultas Industriales	Código: <b>F-PA-02</b>
	Post - Analítico	Versión: <b>15</b>
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Última modificación: <b>2024-01-15</b>

INFORME DE ENSAYO INF 24-0829			
<b>Fecha de emisión</b>	2024-08-29	<b>Informe N.º</b>	24-0829
<b>Fecha de recepción</b>	2024-08-09	<b>Solicitud N.º</b>	24-0829

1. INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL CLIENTE			
1.1 Información del cliente			
<b>Cliente</b>	Escuela de química- UIS	<b>Contacto</b>	Maritza Johanna Riveros Duarte
<b>Dirección</b>	cra 27 con calle 9 ciudad universitaria, edificio Laboratorios Livianos, Laboratorio 216.	<b>Teléfono</b>	6076344000 ext. 1460
<b>Correo</b>	majorive@uis.edu.co	<b>NIT</b>	890201213-4
1.2 Información del muestreo			
<b>Fecha</b>	2024-08-08	<b>Tipo</b>	Puntual
<b>Lugar</b>	Edificio Camilo Torres Laboratorio Análisis Químico Lab 216	<b>Muestreo</b>	Realizado por el cliente
<b>Punto</b>	Grifo de agua del destilador		
Nota: La identificación de la muestra también es información suministrada por el cliente.			

2. INFORMACIÓN DE ENSAYOS			
Destilador (24-0829)			
Agua			
<b>Fecha inicial análisis</b>	2024-08-09	<b>Lugar de análisis</b>	Calle 9 # 27; UIS Campus Central
<b>Fecha final análisis</b>	2024-08-09		


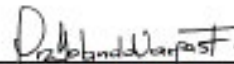
  

Tabla 1. Resultados de ensayos			
Parámetro	Método	Resultado	Unidades
Análisis Físico-químico			
Conductividad Eléctrica	Conductivimétrico, SM 2510 B	0,97	µS/cm
Resistividad Eléctrica	Cálculo	1,03	MΩ*cm
pH <sup>2</sup>	Potenciométrico, SM 4500-H <sup>+</sup> B	7,15	Und. pH
Carbono Orgánico Total	Espectrofotométrico UV-Vis, SM 5310 C	186	µg C/L
Sodio	Absorción Atómica, SM 3111 B	9,1	µg Na/L
Cloruros	Argentométrico, SM 4500-Cl <sup>-</sup> B	8,9	µg Cl/L
Silice Total	Espectrofotométrico	450	µg SiO <sub>2</sub> /L
Análisis Microbiológicos			
Recuento de Heterótrofos	Filtración por membrana, SM 9222 J	0	UFC/100 ml
Coliformes Totales	Filtración por membrana, SM 9222 J	0	UFC/100 ml
Escherichia coli	Filtración por membrana, SM 9222 J	0	UFC/100 ml

<sup>2</sup> Temperatura de la lectura de pH: 25.0°C

a) La información de muestreo es proporcionada por el cliente. Por lo tanto, no se realizará referencia alguna al plan y método de muestreo utilizado. Los resultados se aplican a la muestra como se recibió. b) Los resultados reportados en el presente informe están relacionados exclusivamente a los ítems que han sido sometidos a ensayo. c) Sin la aprobación del laboratorio no se debe reproducir el informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad. d) El laboratorio no es responsable por la información identificada como suministrada por el cliente y su posible afectación en la validez de los resultados.

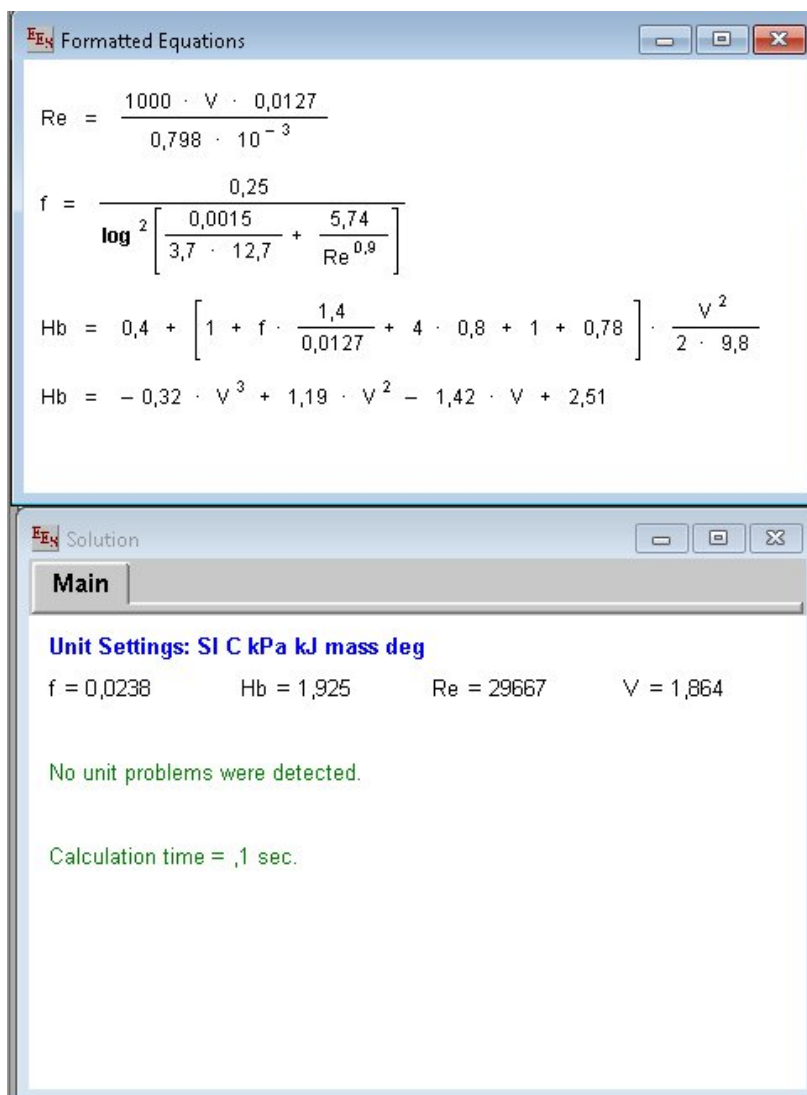
  

 Coordinadora de laboratorio Qca. Esp. Bibiana Herrera MP PQ-3003	 Directora de laboratorio Qca. M.Sc. Yolanda Vargas MP PQ-1144
---	--

Fin del informe
-----------------

## Anexo B Cálculos de selección de bomba



The image shows two windows from the EES software. The top window, titled "Formatted Equations", displays the following mathematical expressions:

$$Re = \frac{1000 \cdot V \cdot 0,0127}{0,798 \cdot 10^{-3}}$$
$$f = \frac{0,25}{\log^2 \left[ \frac{0,0015}{3,7 \cdot 12,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right]}$$
$$H_b = 0,4 + \left[ 1 + f \cdot \frac{1,4}{0,0127} + 4 \cdot 0,8 + 1 + 0,78 \right] \cdot \frac{V^2}{2 \cdot 9,8}$$
$$H_b = -0,32 \cdot V^3 + 1,19 \cdot V^2 - 1,42 \cdot V + 2,51$$

The bottom window, titled "Solution", shows the results of the calculation:

**Main**

**Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg**

f = 0,0238      H<sub>b</sub> = 1,925      Re = 29667      V = 1,864

No unit problems were detected.

Calculation time = ,1 sec.

## Anexo C Manual

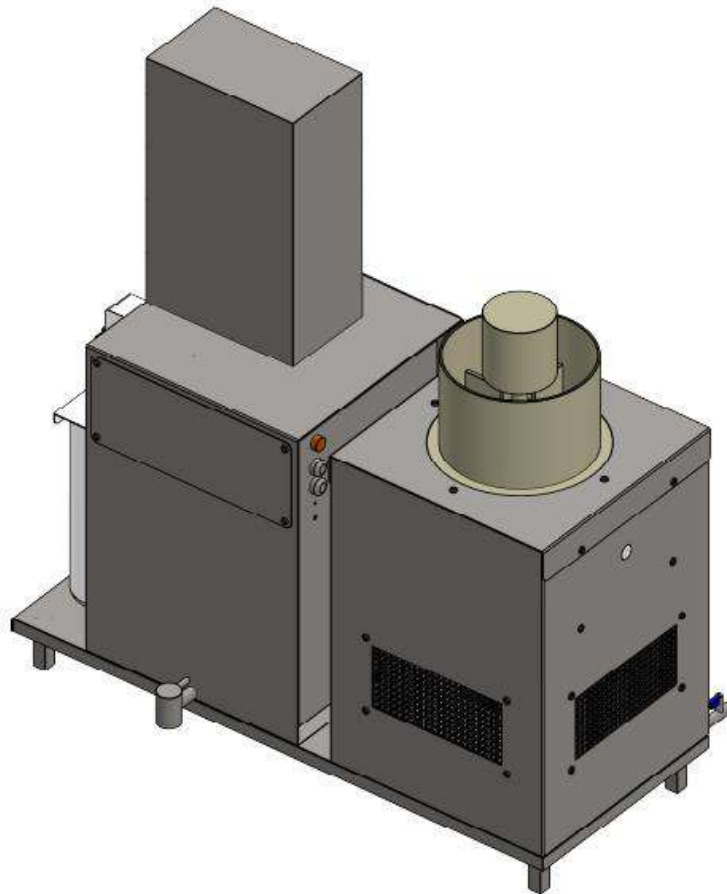
✓ A continuación, se anexa el manual entregado a la Escuela de Química

## Anexo D Planos

✓ Al final de este documento se presentan los planos del Destilador

# MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

EQUIPO DE DESTILACIÓN Y TORRE DE  
ENFRIAMIENTO



# TABLA DE CONTENIDO

ADVERTENCIA: .....3  
FICHA TÉCNICA:.....3  
INDICADORES DE FUNCIONAMIENTO:.....3  
PIEZAS Y PARTES:.....4  
PASOS PARA DESTILAR: .....5  
RUTINAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO: .....6  
MANTENIMIENTO CORRECTIVO (TROUBLESHOOTING):.....6  
DIAGRAMAS: .....8  
LISTADO DE COMPONENTES:.....9  
CONTACTO: .....9

## ADVERTENCIA:



Por su seguridad no manipule el equipo mientras este se encuentra encendido. Realice las inspecciones, limpiezas y reemplazos con el destilador desconectado. Asegúrese de conectar siempre la clavija a un tomacorriente con puesta a tierra.

## FICHA TÉCNICA:

Capacidad de destilado: 4 L/h

Capacidad de almacenamiento: 5 L

Potencia eléctrica: 3 200 W

Tensión eléctrica: 220 VAC

Frecuencia eléctrica: 60 Hz

Material principal: Acero inoxidable 304 C-18

Tiempo de funcionamiento continuo: 5 h (20 L)

Pureza agua: Norma ISO 3696 de 1987 grado 3

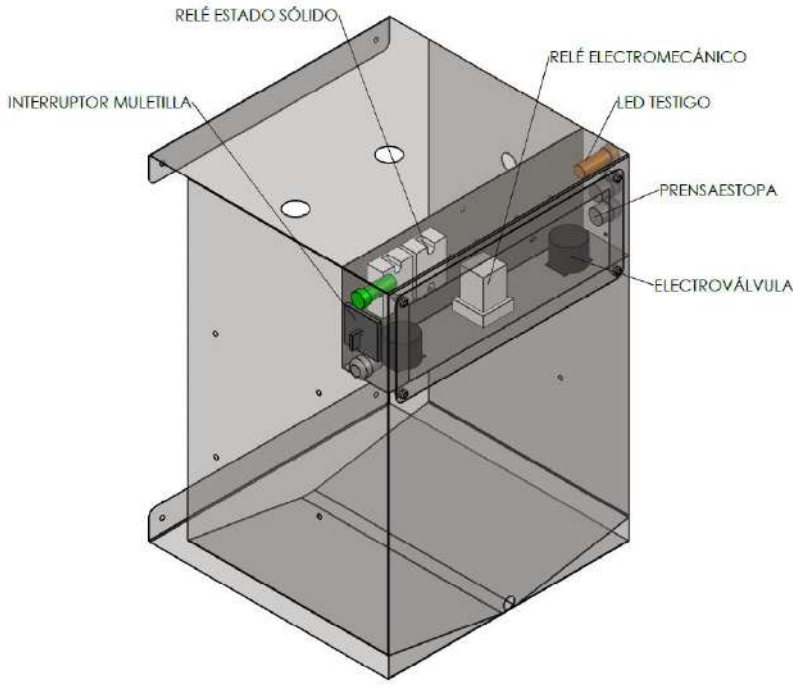
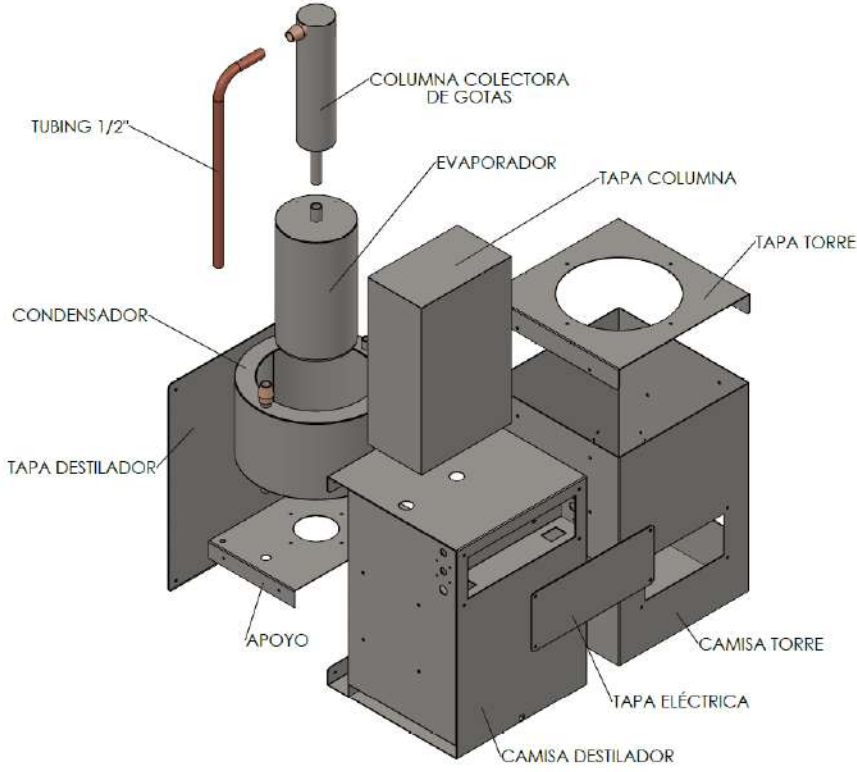
## INDICADORES DE FUNCIONAMIENTO:

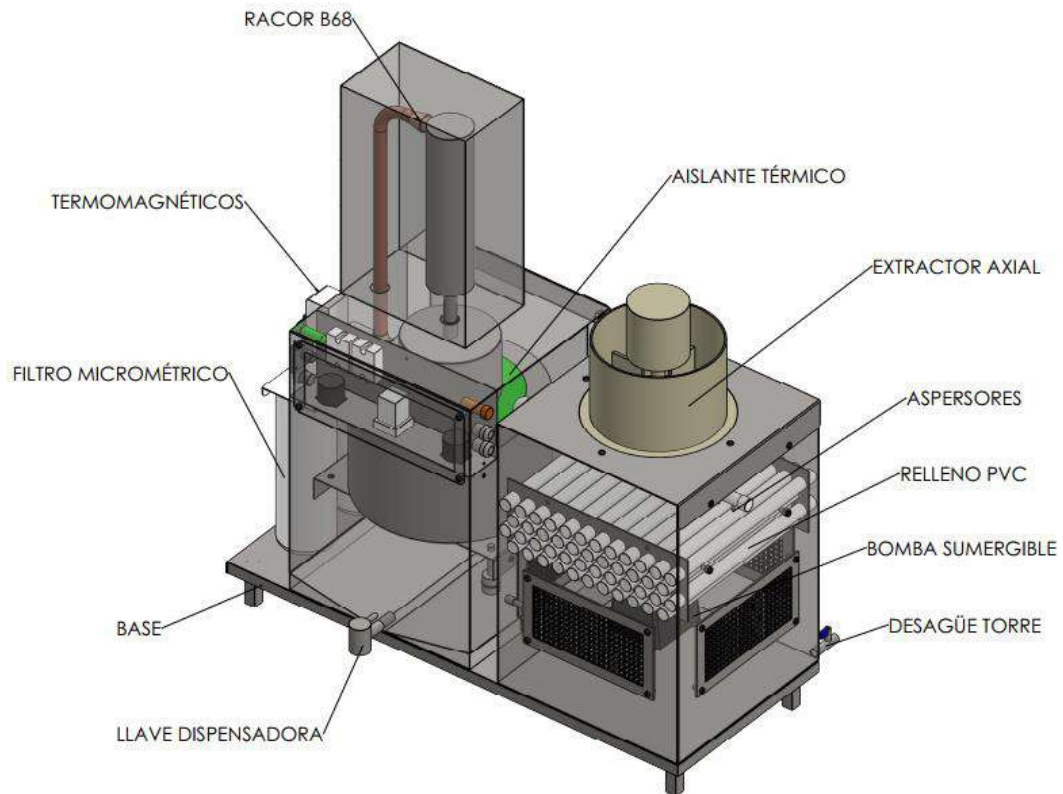
El led testigo verde indica el encendido del interruptor muletilla.

El led testigo naranja indica el encendido de la resistencia térmica de inmersión.

La salida de aire y la caída de agua a través de la malla indican el funcionamiento del extractor y la bomba sumergible, respectivamente.

# PIEZAS Y PARTES:





## PASOS PARA DESTILAR:

1. Vacíe completamente el tanque de destilado abriendo la llave dispensadora y recogiendo los residuos de agua destilada en algún proceso anterior.
2. Asegúrese de que la manguera blanca del filtro se encuentra conectada y la derivación abierta.
3. Deje la llave dispensadora en su posición cerrada para llenar el tanque de destilado interno (5 L) o en su posición abierta para llenar otro recipiente.
4. Conecte la clavija al tomacorriente de 220 V.
5. Asegúrese que el interruptor termomagnético está arriba (rojo).
6. Gire 90 grados el interruptor muletilla y verifique que enciende el led testigo verde.
7. Una vez terminada la destilación regrese interruptor muletilla a su posición OFF y verifique que el led testigo verde se apaga.
8. Recoja el agua destilada de ser necesario.

NOTA: No manipule las superficies de acero con el destilador encendido.

## RUTINAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO:

1. Limpie las superficies externas del conjunto destilador – torre con un paño de microfibras seco o ligeramente humedecido con el fin de remover el polvo y otros residuos. Frecuencia: MENSUAL
2. Remueva las tapas del destilador y verifique las conexiones según el diagrama eléctrico asegurándose de que no hay cables desconectados o con el aislamiento deteriorado. También revise las medidas de protección: la integridad de los termomagnéticos y la correcta conexión de la tierra física (cable verde). Frecuencia: MENSUAL
3. Limpie el tanque de agua destilada abriendo la unión PVC que está antes de la válvula cheque. Asegurándose de que queda completamente seco antes de iniciar una destilación. Frecuencia: TRIMESTRAL
4. Revise las conexiones de agua según el diagrama de tuberías e instrumentos en busca de fugas. Frecuencia: TRIMESTRAL
5. Limpie la columna colectora de gotas y el tubo interno del condensador removiendo la tapa de la columna y del destilador, luego abriendo los racores B68 y la unión al roscada de la columna y haciendo pasar agua con detergente. Frecuencia: ANUAL
6. Reemplace el filtro Hydroclean. Frecuencia: TRIMESTRAL
7. Reemplace el filtro UDF Plus. Frecuencia: SEMESTRAL

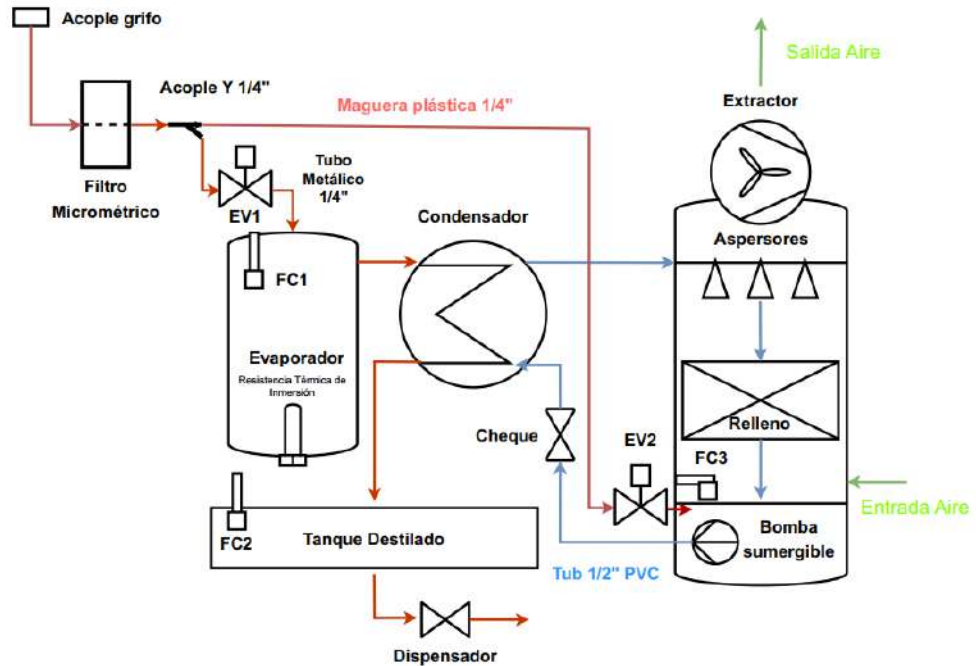
NOTA: Si lleva más de 3 meses sin usar el destilador reemplace el agua en el evaporador, condensador y torre, para ello desconecte el racor de bronce en la base del evaporador, desenrosque la unión después de la válvula cheque y abra la válvula de desagüe, respectivamente. Asegúrese de tener un recipiente listo para recoger el fluido. Luego, llene la base de la torre nuevamente hasta donde marca el flotador, una vez encendido el destilador, continúe llenando la torre mientras la bomba llena nuevamente el condensador.

## MANTENIMIENTO CORRECTIVO (TROUBLESHOOTING):

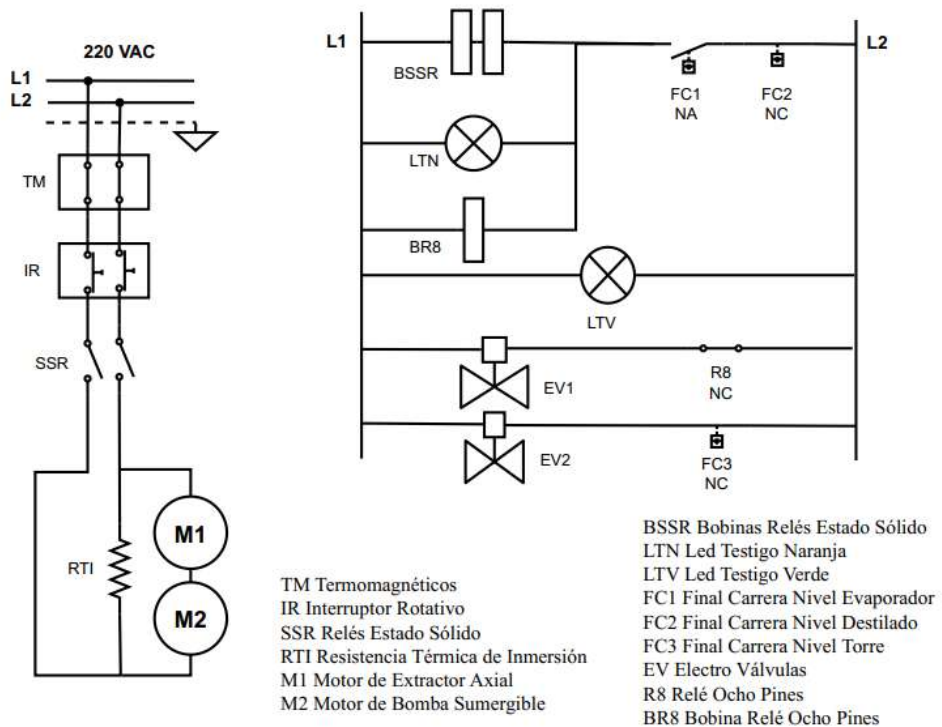
Problemas	Causas	Soluciones
El led testigo verde no enciende al girar el interruptor muletilla	La clavija no está conectada al tomacorriente	Seguir correctamente los pasos para destilar mostrados en la página 5
	No hay conectividad eléctrica en el laboratorio	Revise los tacos o comuníquese con la empresa proveedora del servicio eléctrico
	Los termomagnéticos están apagados	Revise el cumplimiento de los puntos del mantenimiento preventivo, luego encienda el interruptor termomagnético
	Problema en la conexión eléctrica	Comuníquese con la empresa constructora
El led testigo naranja no enciende luego de 5 minutos de encendido el equipo		
El depósito de 5 L de agua destilada tarda mucho en llenarse o no lo consigue	El condensador contiene incrustaciones de material solido que impiden la correcta transferencia de calor	Realice la limpieza según lo indica las rutinas de mantenimiento preventivo en la página 6
	La bomba sumergible está dañada y no consigue elevar el caudal hasta los aspersores	Desconecte y revise el componente según lo indica su manual, de ser necesario reemplácelo por uno de la misma marca y modelo según página 9
	El extractor esta dañado y no consigue enfriar lo suficiente	
El agua destilada no tiene la pureza establecida por la norma ISO 3696 en su grado 3	El tubo de condensación de destilado contiene suciedades o sedimentos	Realice la limpieza según lo indica las rutinas de mantenimiento preventivo en la página 6
	El depósito de agua condensada contiene suciedades o sedimentos	
	El condensador tiene una fuga de agua líquida desde el casco al tubo interno	
Derrame de agua por fuera del destilador o la torre de enfriamiento	Las uniones en los tubos de PVC no están completamente selladas	Comuníquese con la empresa constructora
Hay una fuga de vapor de agua en el destilador	Existe una perforación o fuga en la lámina del evaporador	

# DIAGRAMAS:

## Diagrama de tuberías e instrumentos P&ID



## Diagrama eléctrico



## LISTADO DE COMPONENTES:

Componente	Marca	Modelo
Resistencia de inmersión	-	3 kw
Extractor axial	EnergiNN	2CC2204-1F
Filtro micrométrico	Grival	797435551
Bomba sumergible	Evans	AQUA45W
Tubos y accesorios	Pavco	1/2" SCH 40
Aspersores	Monojet	360 grados
Llave dispensadora	Bkinpid	5/8" Acero 304
Clavija	-	250 V 15 A
Termomagnéticos	CHNT	NB1-63-C16
Interruptor muletilla	Voltio	2P 20A
Leds testigo	EBCHQ	AD22-22DS
Relé estado sólido	Xurui	XSSR-AA2425W1
Sensores de nivel	-	M10 Acero 304
Prensa estopa	PG13,5	Acero 304
Pirómetro digital	Precision	Rex C100
Relé electromecánico	-	8 Pines 220 V
Termocupla	-	Tipo J bulbo largo
Electroválvulas	AirControl	2W-025-08

## CONTACTO:

Diseñado por:

Cristian Camilo Jaimes Guerrero como proyecto para optar por el título de Ingeniero Mecánico de la Universidad Industrial de Santander

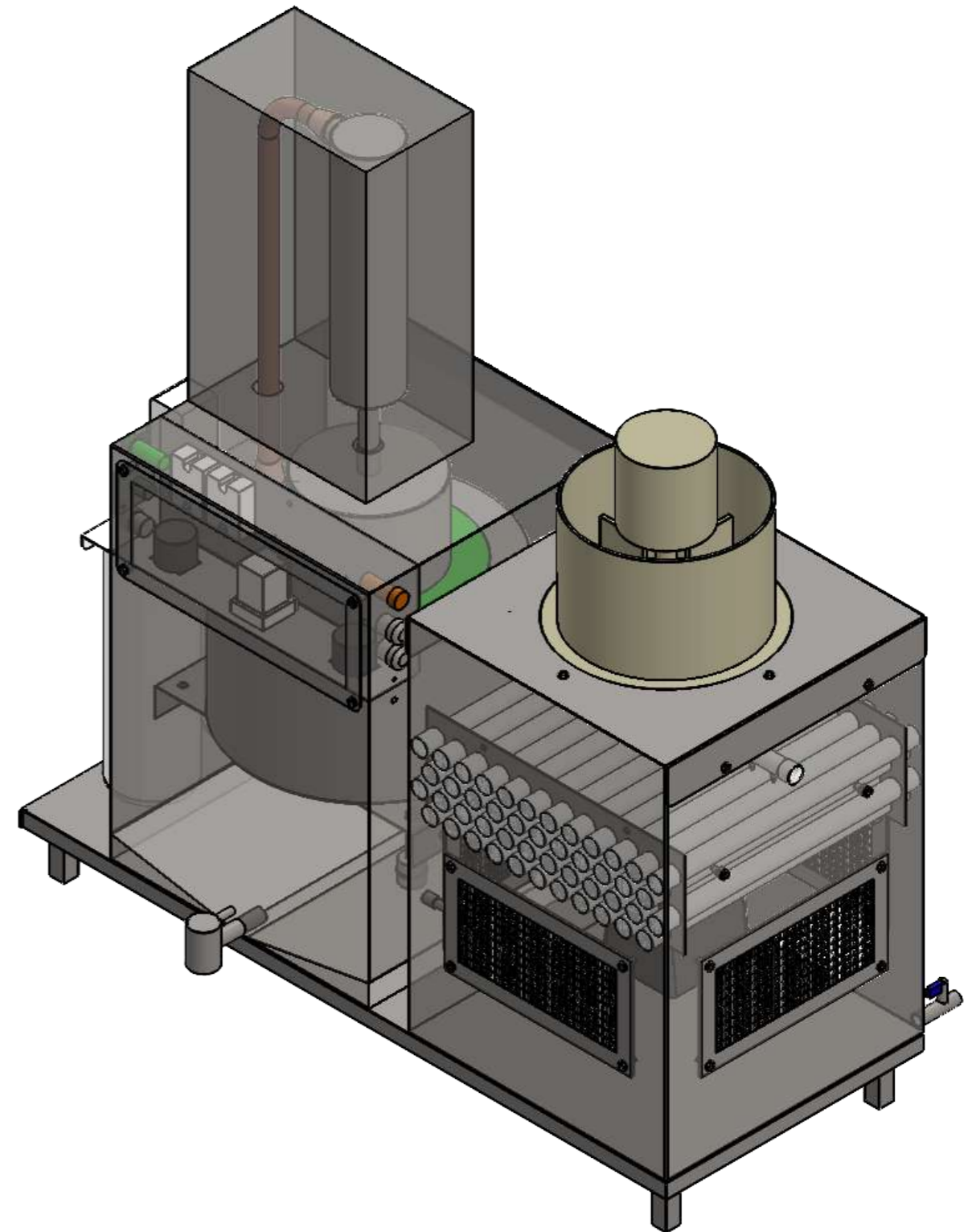
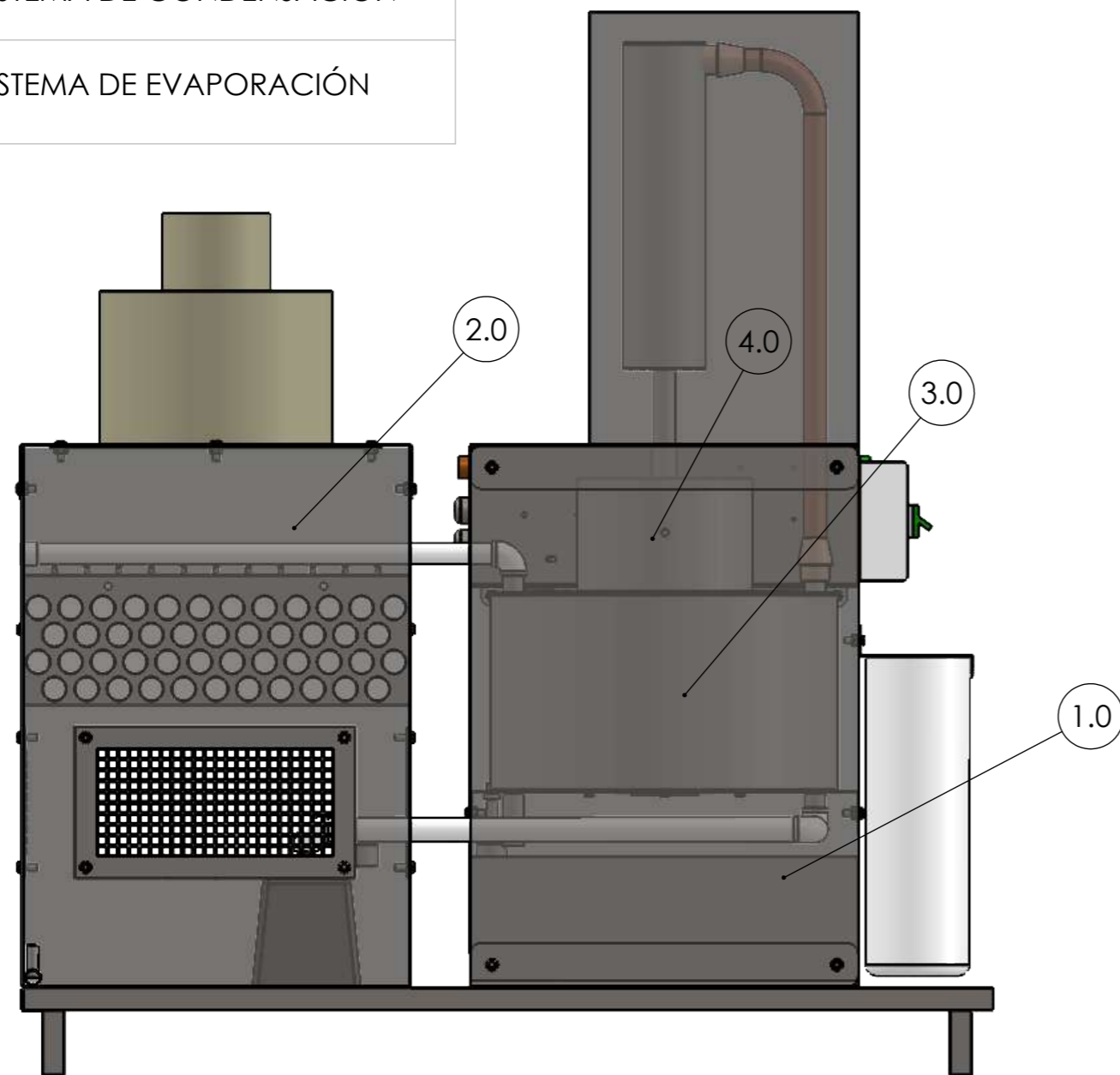
Email: cristianc.jaimesg@gmail.com

Construido por:

Industrias Méndez Bernal Montajes e Ingeniería

Email: imbgerencia1@gmail.com

#	NOMBRE
1.0	DESTILADOR
2.0	TORRE DE ENFRIAMIENTO
3.0	SISTEMA DE CONDENSACIÓN
4.0	SISTEMA DE EVAPORACIÓN



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

LOS CUATRO SISTEMAS SE ENSAMBLAN DE LA MANERA MOSTRADA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/2024

TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE ENSAMBLAJE GENERAL

ESCALA: 1:6

UNIDADES: MM

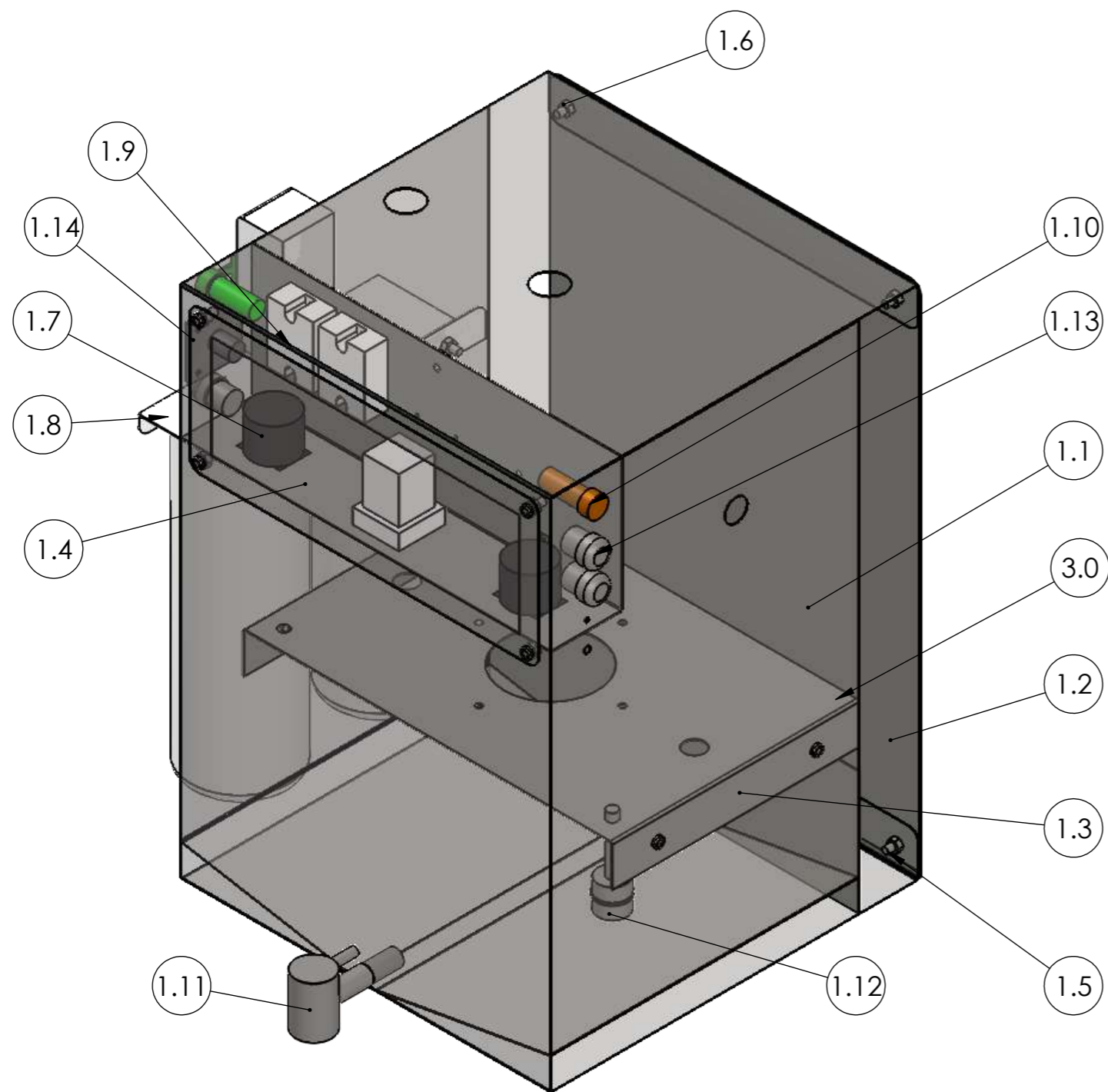
AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

A3



REVISAR: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 1/5



1.1	CAMISA DESTILADOR
1.2	TAPA DESTILADOR
1.3	APOYO DESTILADOR
1.4	TAPA CAJA ELÉCTRICA
1.5	PERNOS 1/4" ACERO INOXIDABLE
1.6	TUERCAS 1/4" ACERO INOXIDABLE
1.7	ELECTROVÁLVULA 220 VAC (EV1)
1.8	FILTRO MICROMÉTRICO 2 ETAPAS
1.9	RELÉ SSR NO 220 VAC
1.10	LUCES TESTIGO
1.11	DISPENSADOR DESTILADO
1.12	SENSOR NIVEL ACERO 75 MM (SN2)
1.13	PRENSAESTOPA
1.14	INTERRUPTOR ON - OFF

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

LOS COMPONENTES DEL DESTILADOR SE ENSAMBLAN DE LA MANERA MOSTRADA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/2024

ESCALA: 1:4

UNIDADES: MM

A3

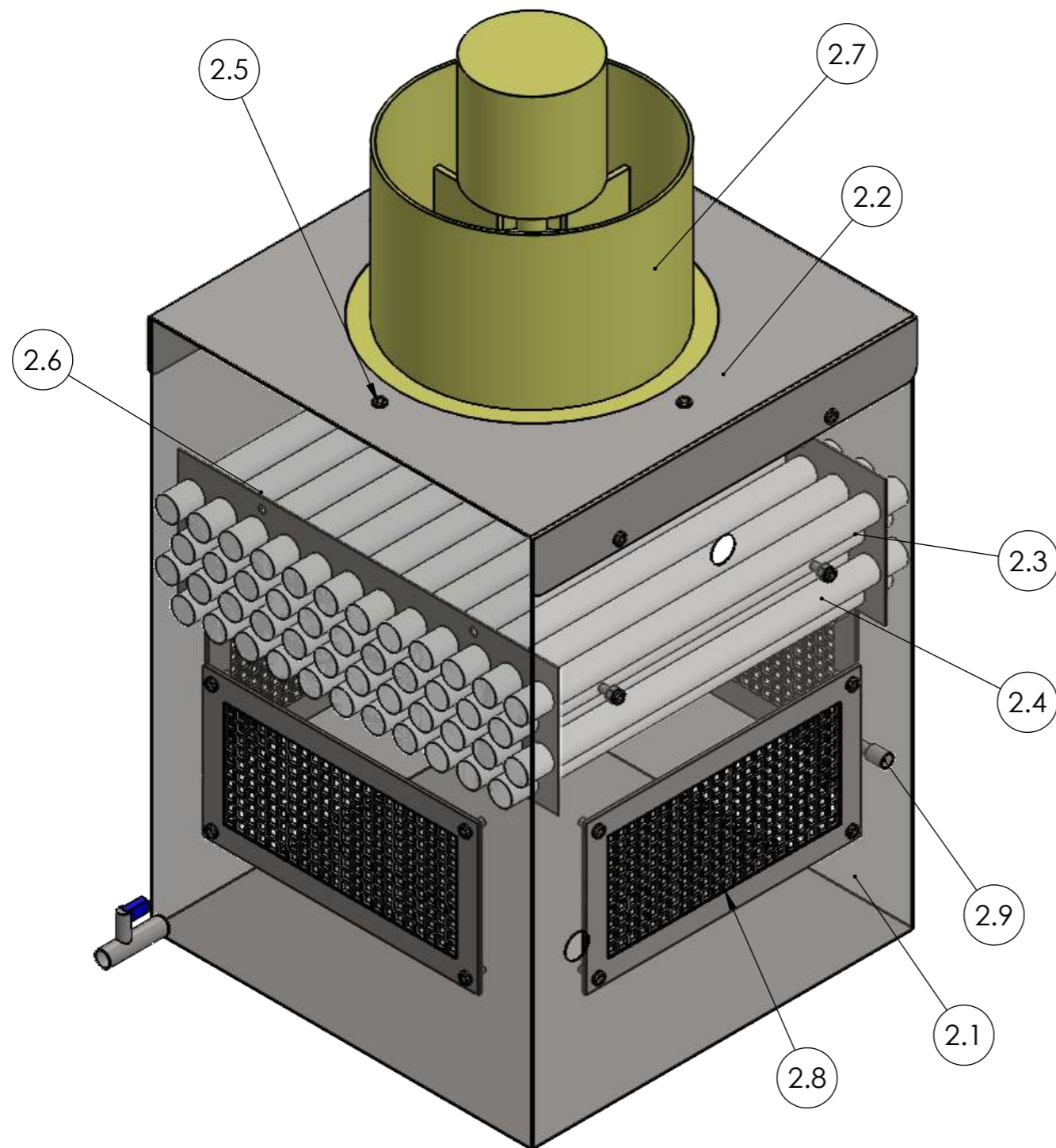


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE ENSAMBLAJE DEL DESTILADOR  
1.0 - DESTILADOR

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISAR: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 2/5



#	NOMBRE
2.1	CAMISA TORRE
2.2	TAPA TORRE
2.3	LÁMINAS RELLENO
2.4	TUBOS RELLENO PVC 3/4" SCH 40 360 MM
2.5	PERNOS 1/4" ACERO INOXIDABLE
2.6	TUERCAS 1/4" ACERO INOXIDABLE
2.7	EXTRACTOR AXIAL
2.8	MALLA METÁLICA
2.9	SENSOR DE NIVEL 90 GRADOS (SN3)

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

LOS COMPONENTES DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO SE ENSAMBLAN DE LA MANERA MOSTRADA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/2024

ESCALA: 1:4

UNIDADES: MM

A3

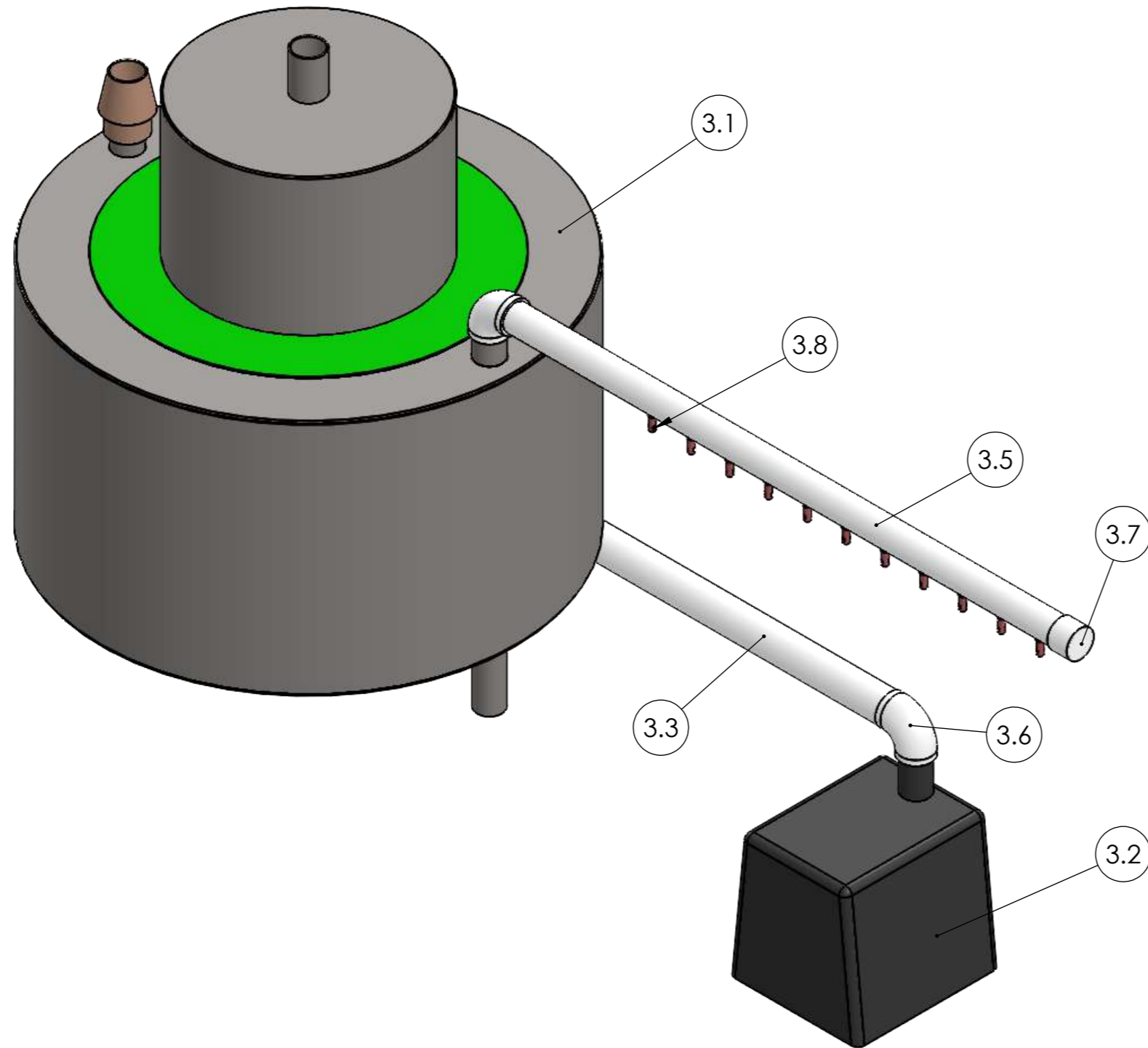


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE ENSAMBLAJE DE TORRE DE ENFRIAMIENTO  
2.0 - TORRE DE ENFRIAMIENTO

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISAR: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 3/5



#	NOMBRE
3.1	CONDENSADOR
3.2	BOMBA SUMERGIBLE
3.3	TUBO PVC 1/2" SCH 40 460 MM
3.4	TUBO PVC 1/2" SCH 40 108 MM
3.5	TUBO PVC 1/2" SCH 40 460 MM PERFORADO
3.6	CODOS 90 PVC 1/2"
3.7	TAPÓN PVC 1/2"
3.8	11 ASPERSORES CON PASO DE 30 MM

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONDENSACIÓN SE ENSAMBLAN DE LA MANERA MOSTRADA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/2024

ESCALA: 1:3

UNIDADES: MM

A3

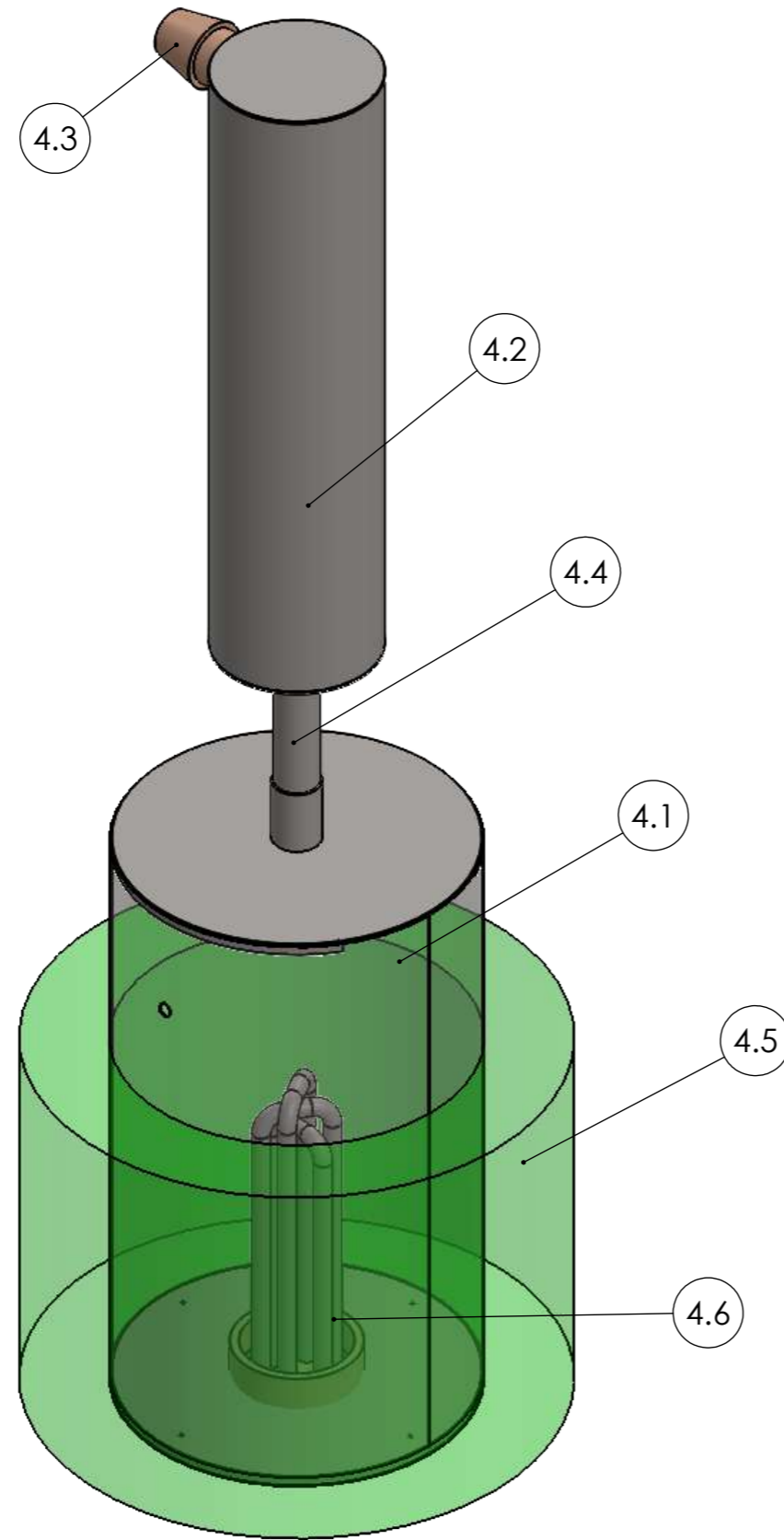


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE ENSAMBLAJE DEL SIST. DE CONDENSACIÓN  
3.0 - SISTEMA DE CONDENSACIÓN

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISAR: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 4/5



#	NOMBRE
4.1	EVAPORADOR
4.2	COLUMNA COLECTORA GOTAS 3"
4.3	RACOR B68 1/2"
4.4	NIPLE 1/2" INOX
4.5	AISLANTE FIBRA DE VÍDRIO
4.6	RESISTENCIA DE INMERSIÓN

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE EVAPORACIÓN SE ENSAMBLAN DE LA MANERA MOSTRADA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/2024

ESCALA: 1:3

UNIDADES: MM

A3

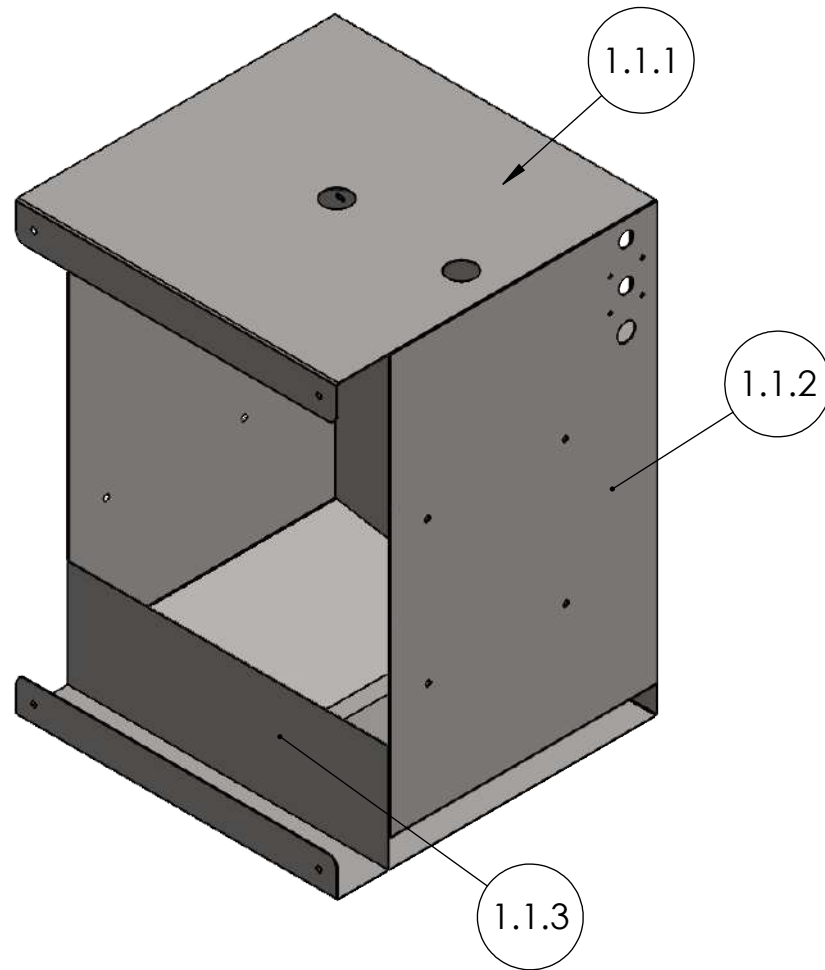


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE ENSAMBLAJE DEL SIST. DE EVAPORACIÓN  
4.0 - SISTEMA DE EVAPORACIÓN

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISA: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 5/5



#	SUBPIEZA
1.1.1	CAMISA DESTILADOR SUBPIEZA 1
1.1.2	CAMISA DESTILADOR SUBPIEZA 2
1.1.3	CAMISA DESTILADOR SUBPIEZA 3
1.1.4	CAMISA DESTILADOR SUBPIEZA 4

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

ENSAMBLADO Y SOLDADO



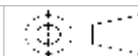
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:6

UNIDADES: MM

A4

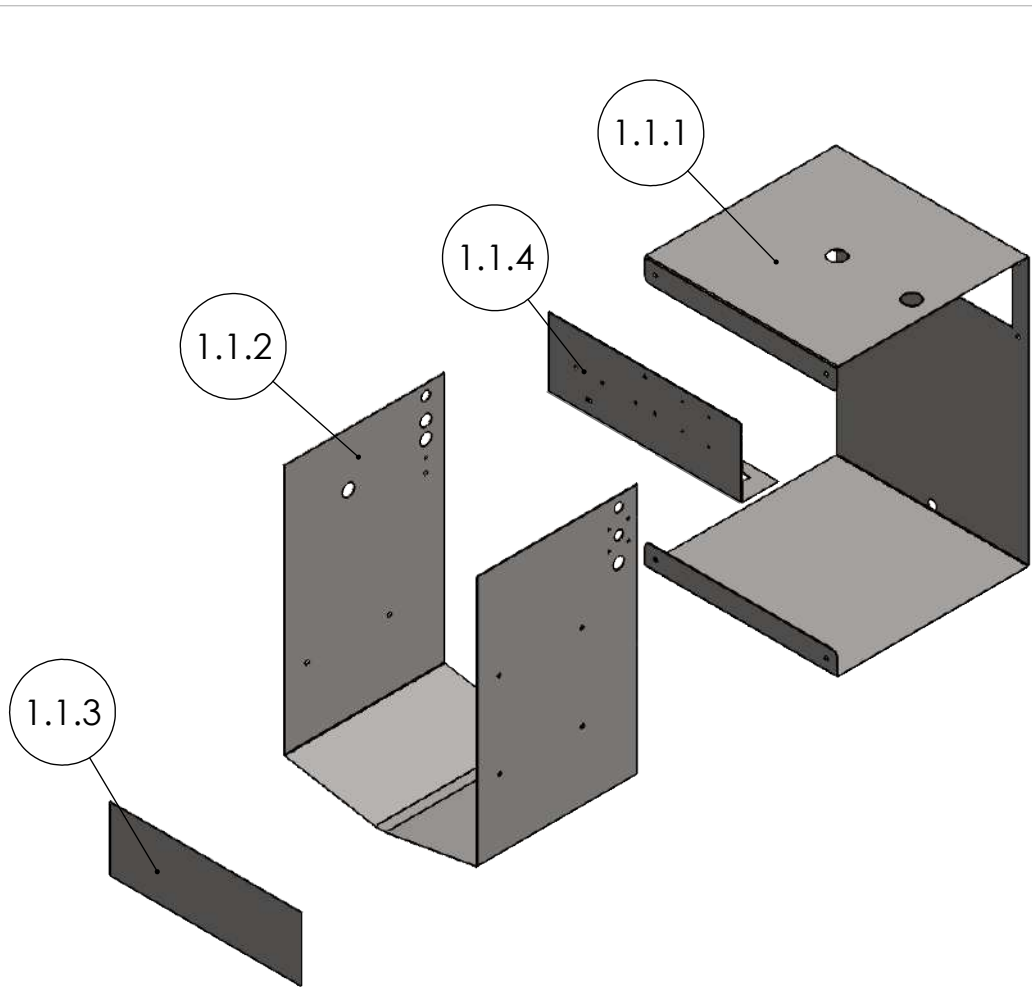


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE ENSAMBLEJE DE PIEZA  
1.1 - CAMISA DESTILADOR

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 1/35



#	SUBPIEZA
1.1.1	CAMISA DESTILADOR SUBPIEZA 1
1.1.2	CAMISA DESTILADOR SUBPIEZA 2
1.1.3	CAMISA DESTILADOR SUBPIEZA 3
1.1.4	CAMISA DESTILADOR SUBPIEZA 4

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

ENSAMBLADO Y SOLDADO



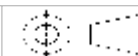
## UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:7

UNIDADES: MM

A4

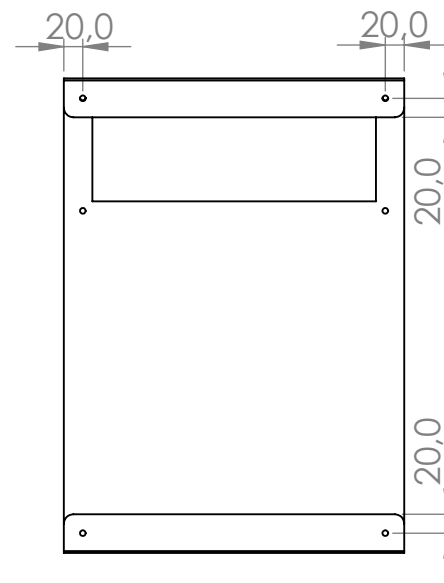
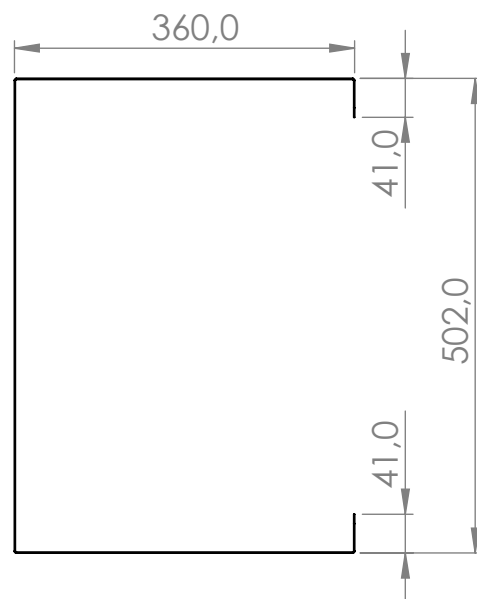
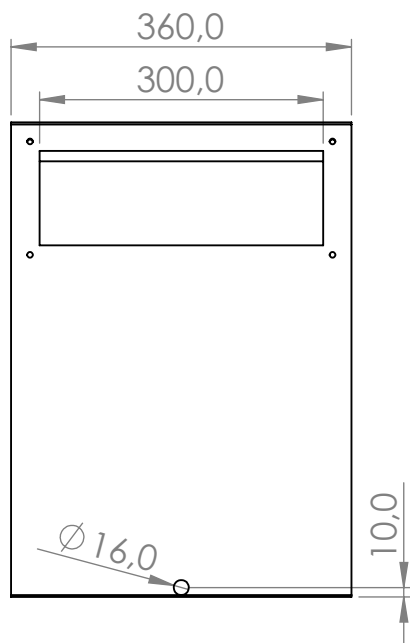


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE EXPLOSIONADO DE PIEZA  
1.1 - CAMISA DESTILADOR

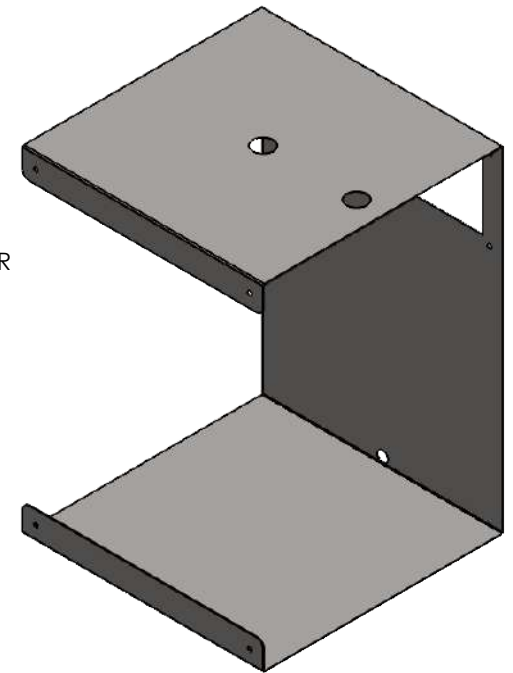
AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 2/35



TODAS LAS PERFORACIONES SIN ACOTAR SON DE 6 MM POR TODO



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
CORTADO  
DOBLADO A 90 GRADOS



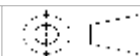
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:8

UNIDADES: MM

A4



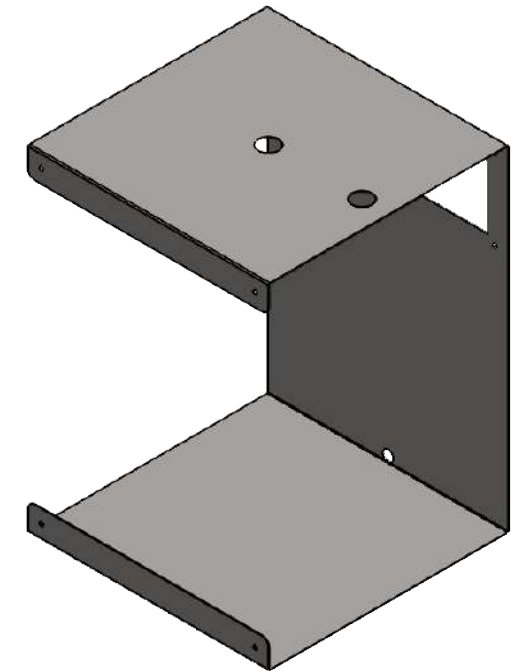
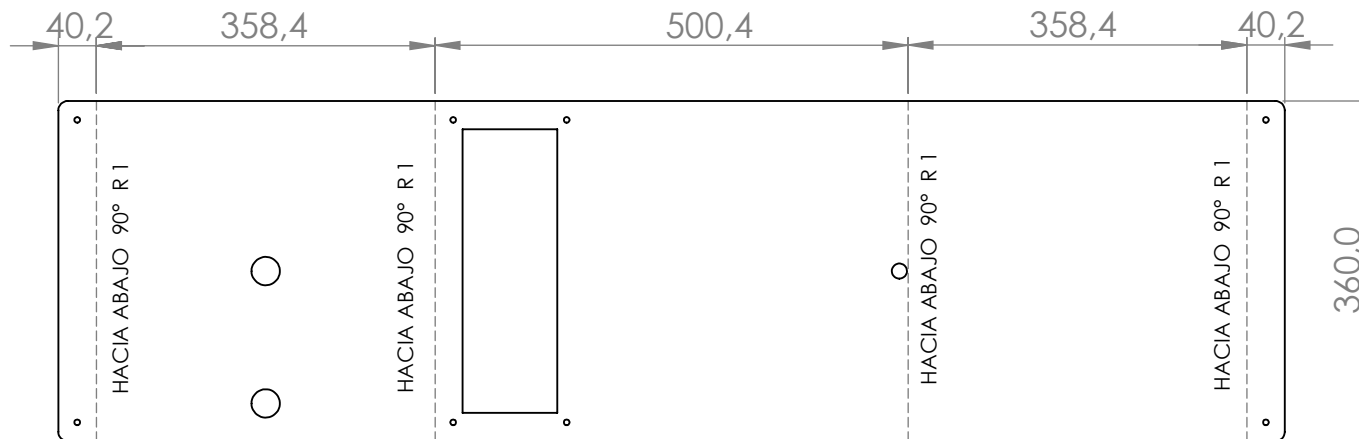
TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE SUBPIEZA  
1.1.1 - CAMISA DESTILADOR SUBPIEZA 1

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 3/35

TODAS LAS PERFORACIONES SIN ACOTAR SON DE 6 MM POR TODO



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
CORTADO  
DOBLADO A 90 GRADOS



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:8

UNIDADES: MM

A4

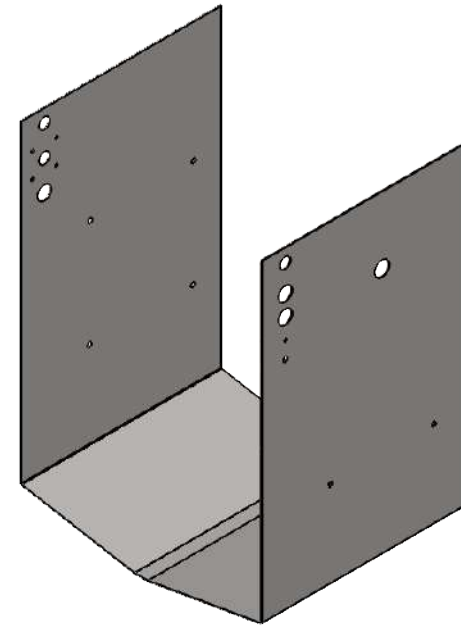
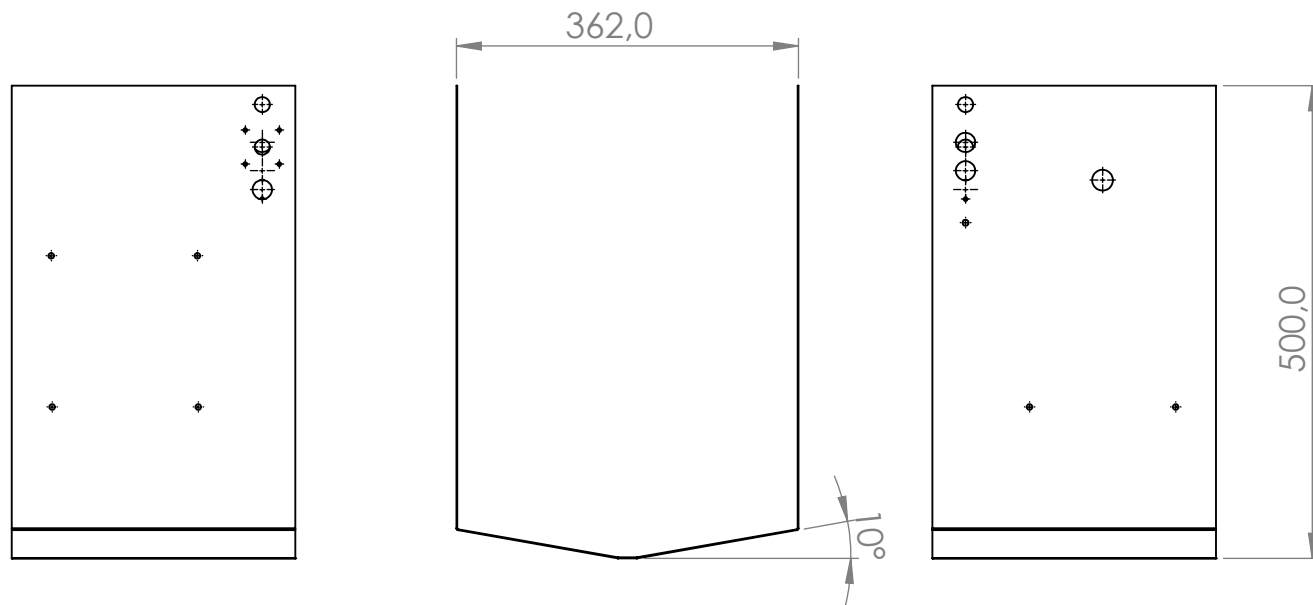


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE DESARROLLO DE SUBPIEZA  
1.1.1 - CAMISA DESTILADOR SUBPIEZA 1

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 4/35



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18 CORTADO



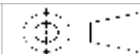
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:4

UNIDADES: MM

A4

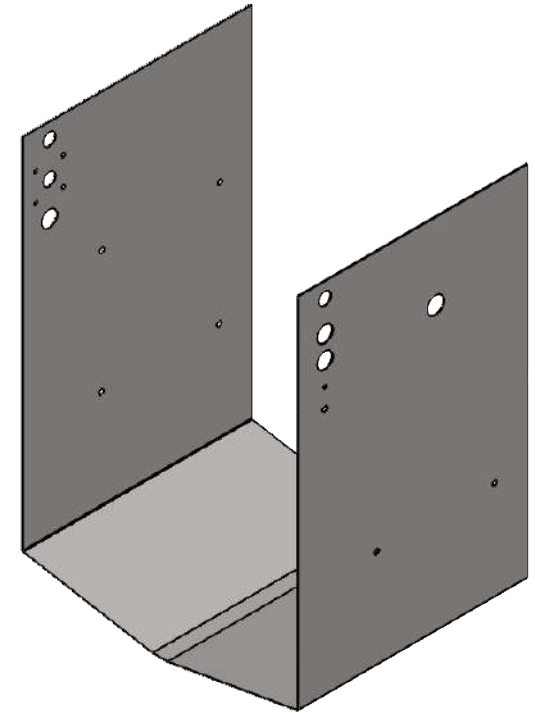
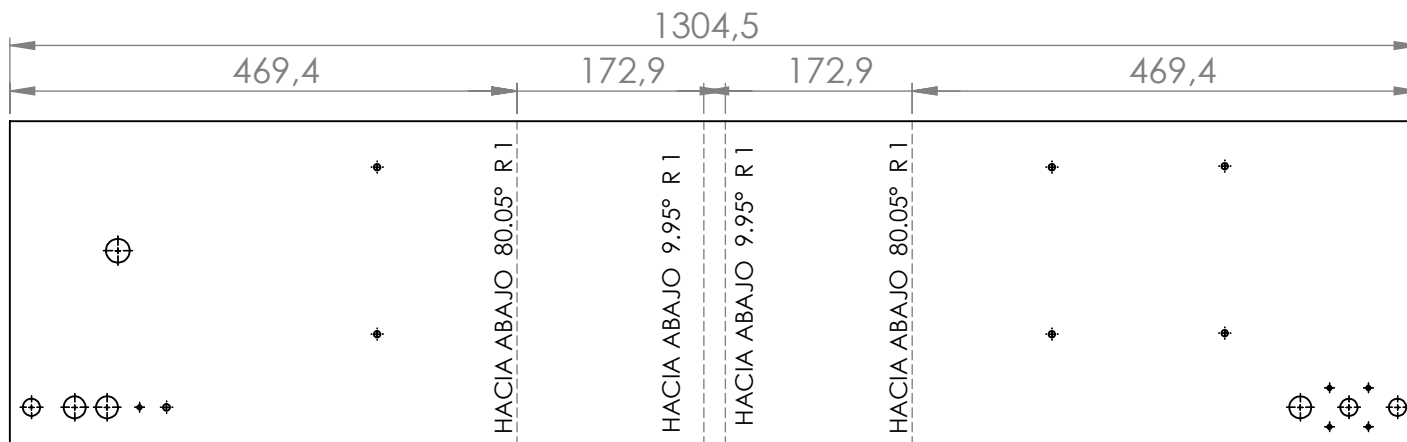


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE SUBPIEZA  
1.1.2 CAMISA DESTILADOR SUBPIEZA 2

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 5/35



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
CORTADO



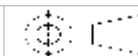
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:4

UNIDADES: MM

A4

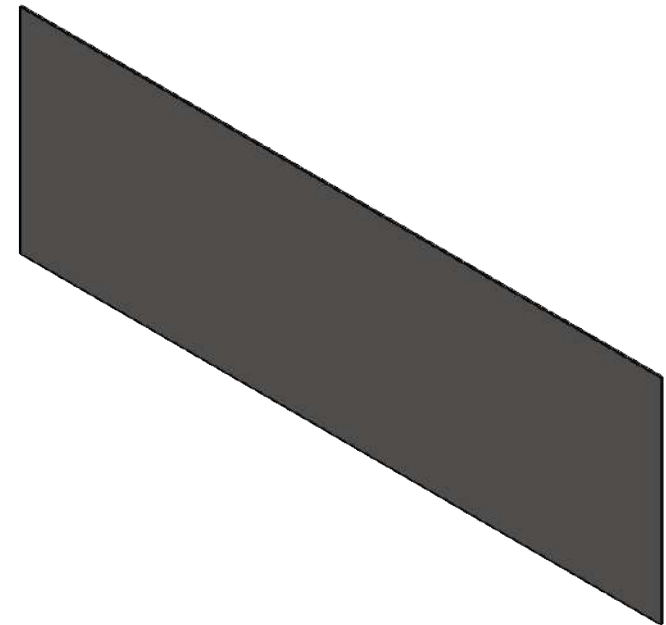
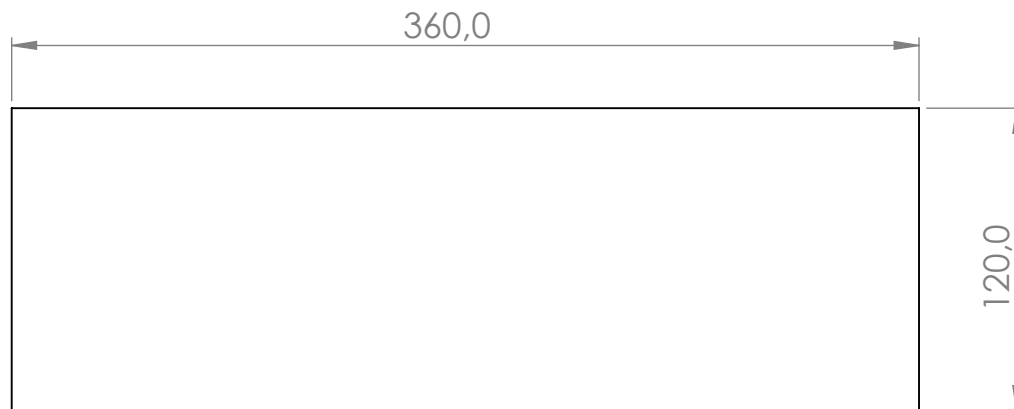


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE DESARROLLO DE SUBPIEZA  
1.1.2 CAMISA DESTILADOR SUBPIEZA 2

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 6/35



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
CORTADO



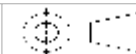
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE  
SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:3

UNIDADES: MM

A4

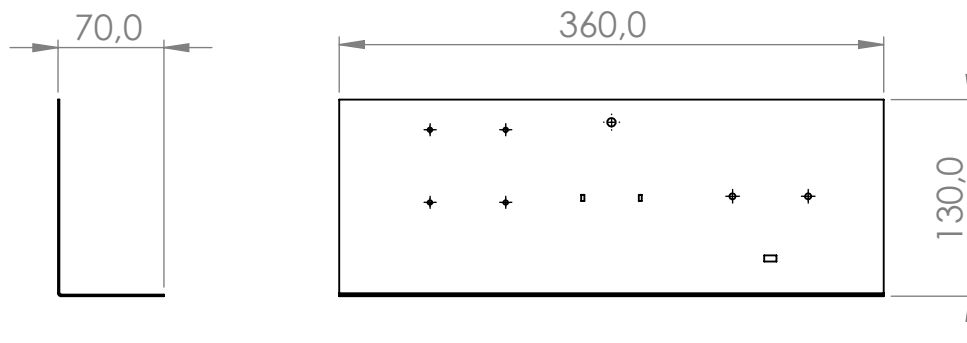
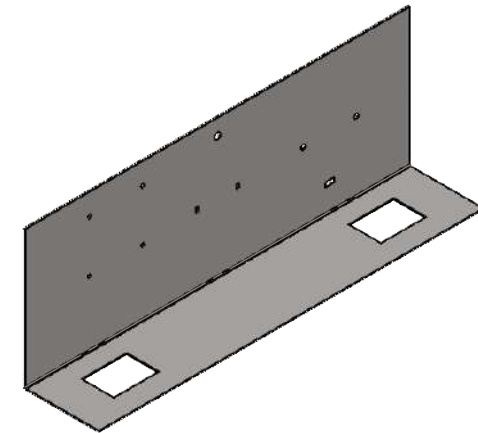
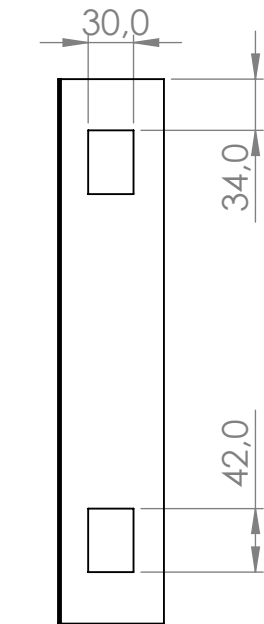


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE SUBPIEZA  
1.1.3 CAMISA DESTILADOR SUBPIEZA 3

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 7/35



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
CORTADO



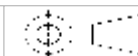
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE  
SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:3

UNIDADES: MM

A4

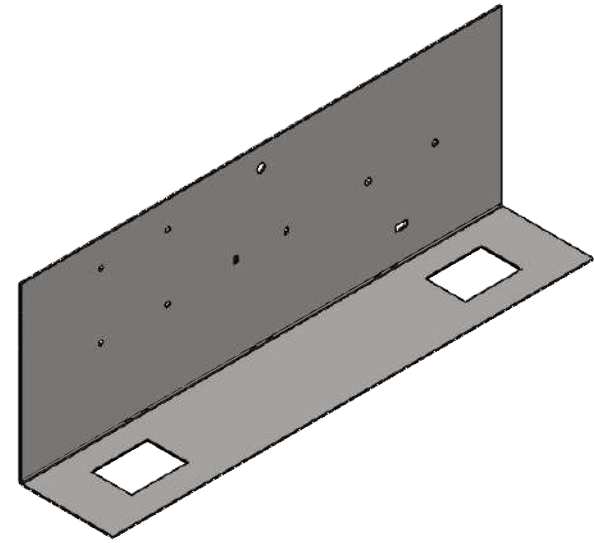
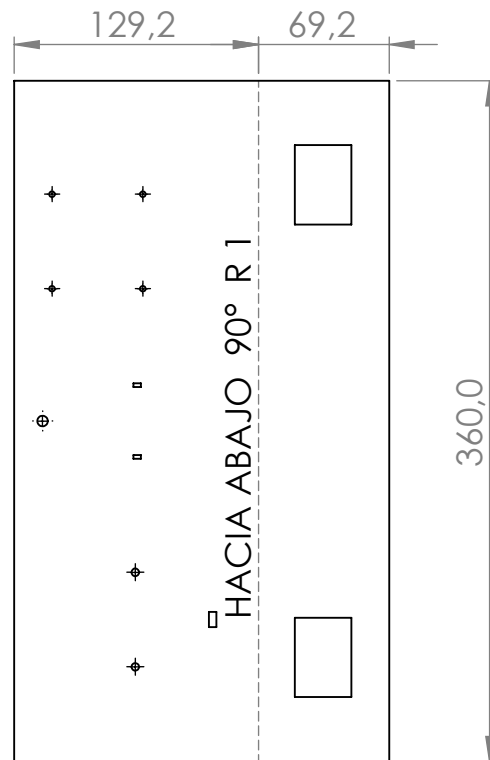


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE SUBPIEZA  
1.1.4 CAMISA DESTILADOR SUBPIEZA 4

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 8/35



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18 CORTADO



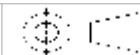
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:3

UNIDADES: MM

A4

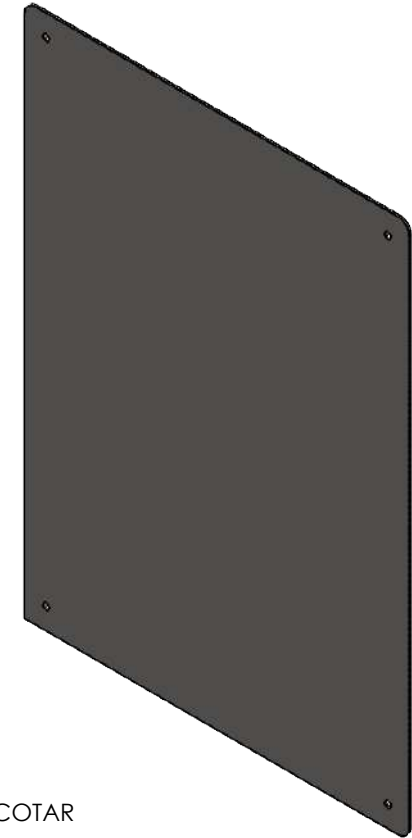
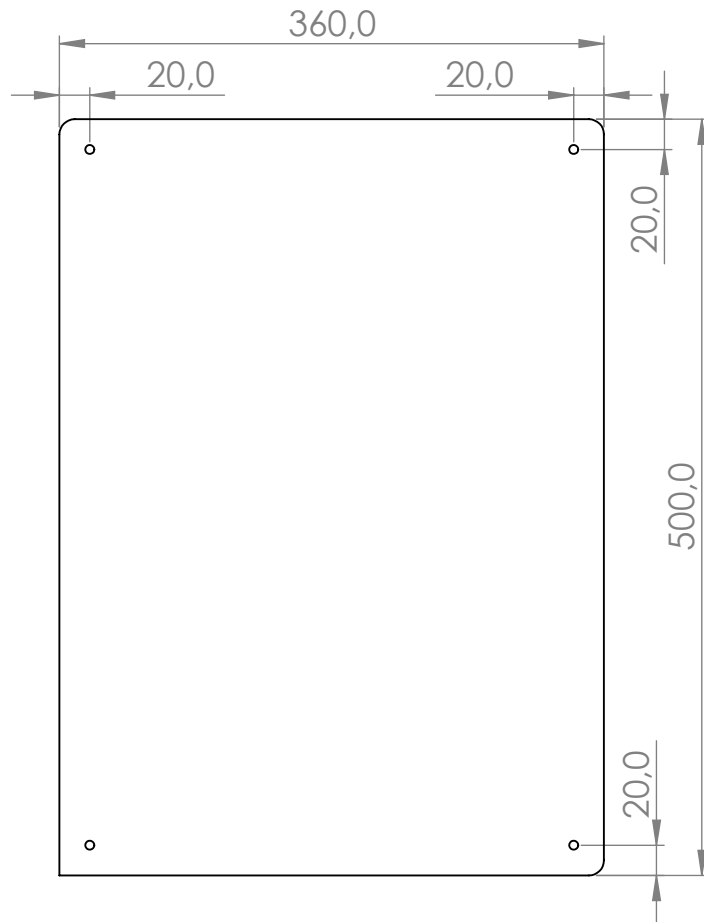


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE DESARROLLO DE SUBPIEZA  
1.1.4 CAMISA DESTILADOR SUBPIEZA 4

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 9/35



TODAS LAS PERFORACIONES SIN ACOTAR SON DE 6 MM POR TODO

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18 CORTADO



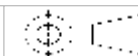
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:5

UNIDADES: MM

A4

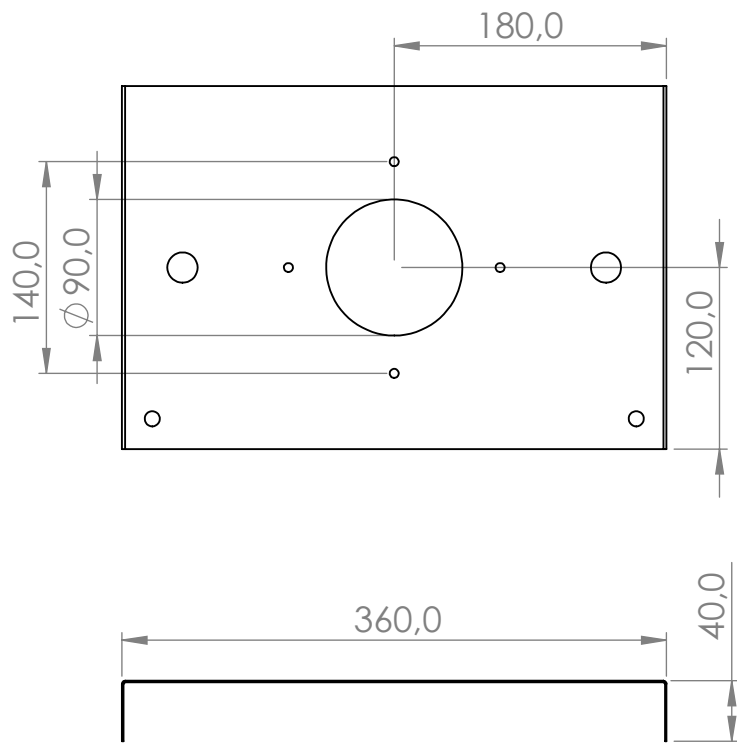


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE PIEZA  
1.2 - TAPA DESTILADOR

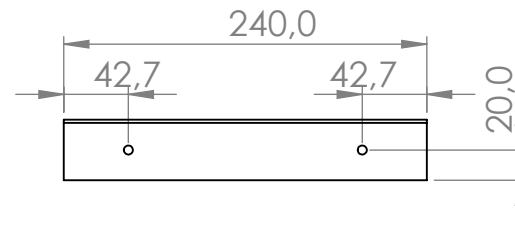
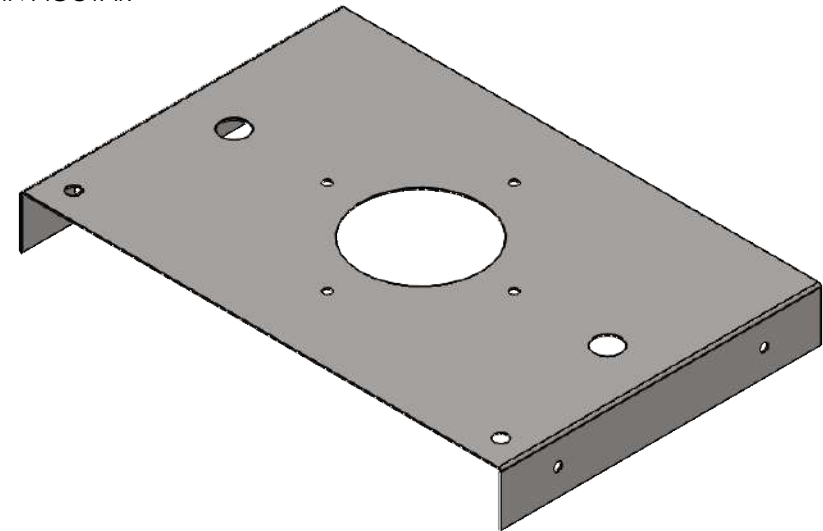
AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 10/35



TODAS LAS PERFORACIONES SIN ACOTAR SON DE 6 MM POR TODO



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
CORTADO  
DOBLADO A 90 GRADOS



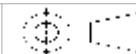
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:5

UNIDADES: MM

A4

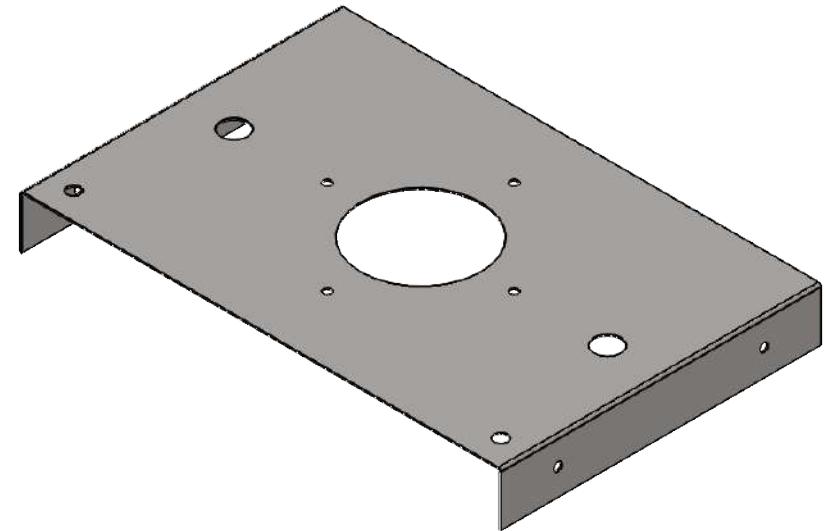
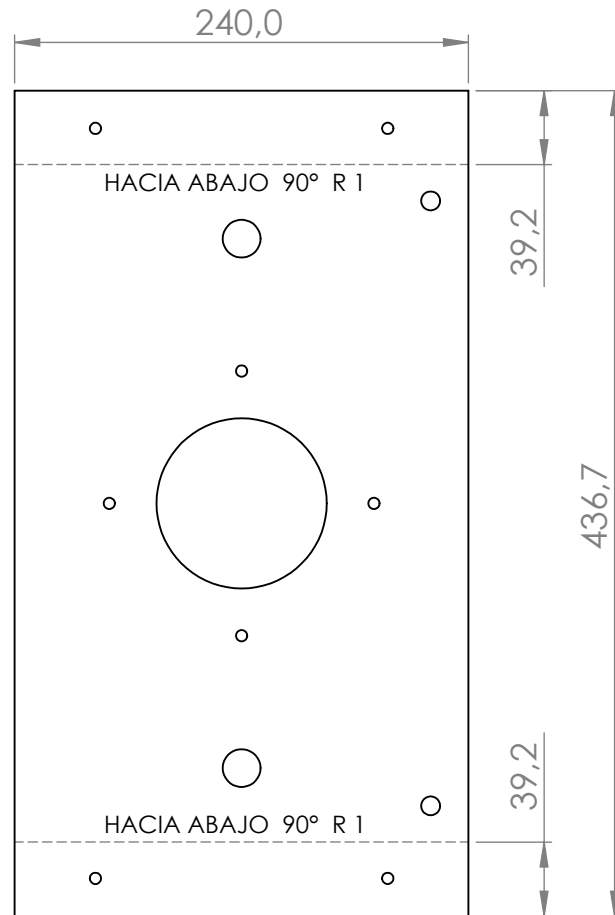


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE PIEZA  
1.3 - APOYO DESTILADOR 1

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 11/35



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
CORTADO  
DOBLADO A 90 GRADOS



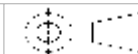
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:4

UNIDADES: MM

A4



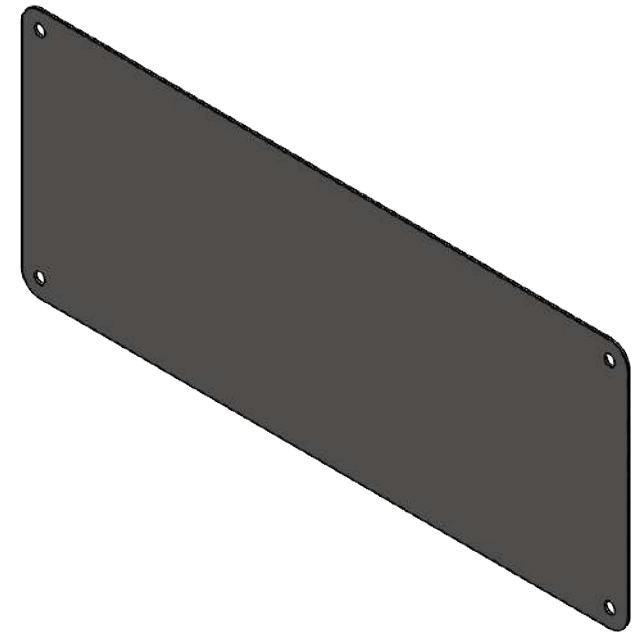
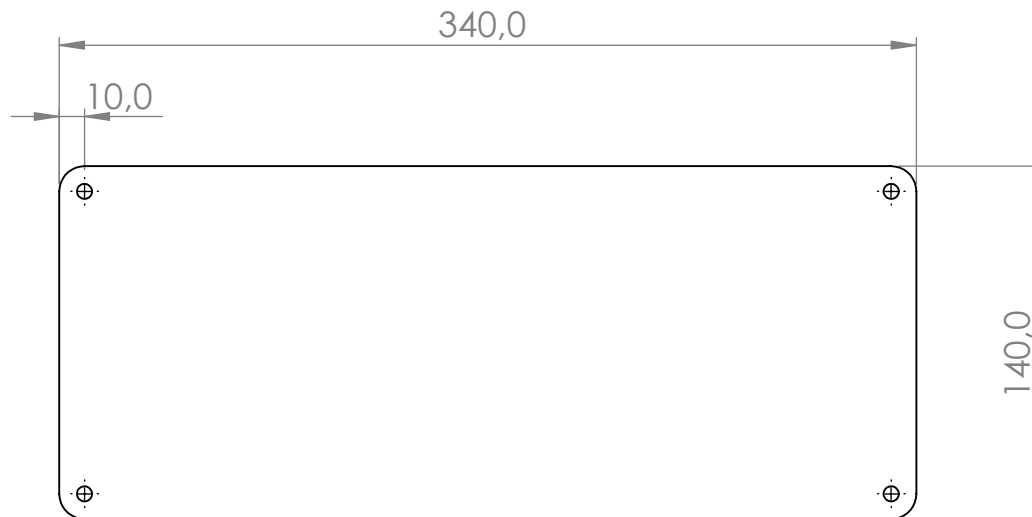
TÍTULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE DESARROLLO DE PIEZA  
1.3 - APOYO DESTILADOR 1

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 12/35

TODAS LAS PERFORACIONES SIN ACOTAR SON DE 6 MM POR TODO



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
CORTADO  
DOBLADO A 90 GRADOS



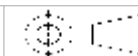
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:5

UNIDADES: MM

A4

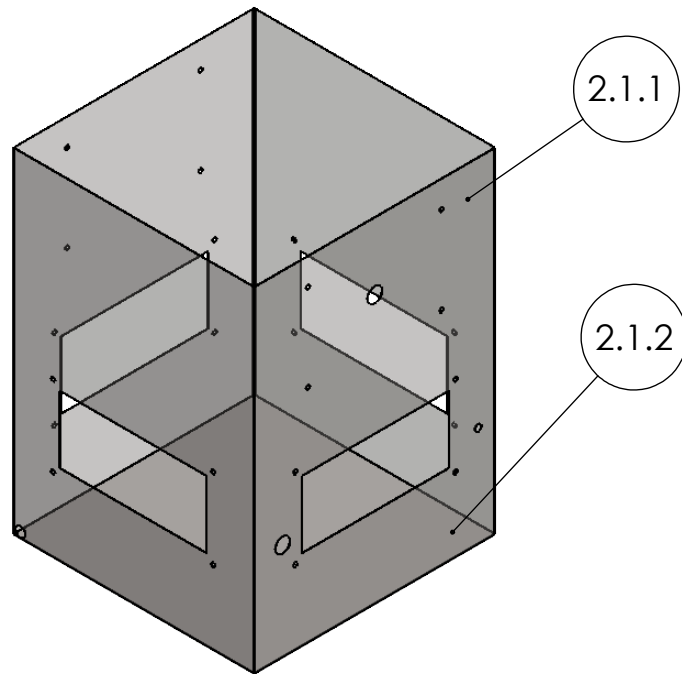


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE PIEZA  
1.4 - APOYO DESTILADOR 2

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 13/35



#	SUBPIEZA
2.1.1	CAMISA TORRE SUBPIEZA 1
2.1.2	CAMISA TORRE SUBPIEZA 2

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

ENSAMBLADO Y SOLDADO



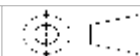
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:8

UNIDADES: MM

A4

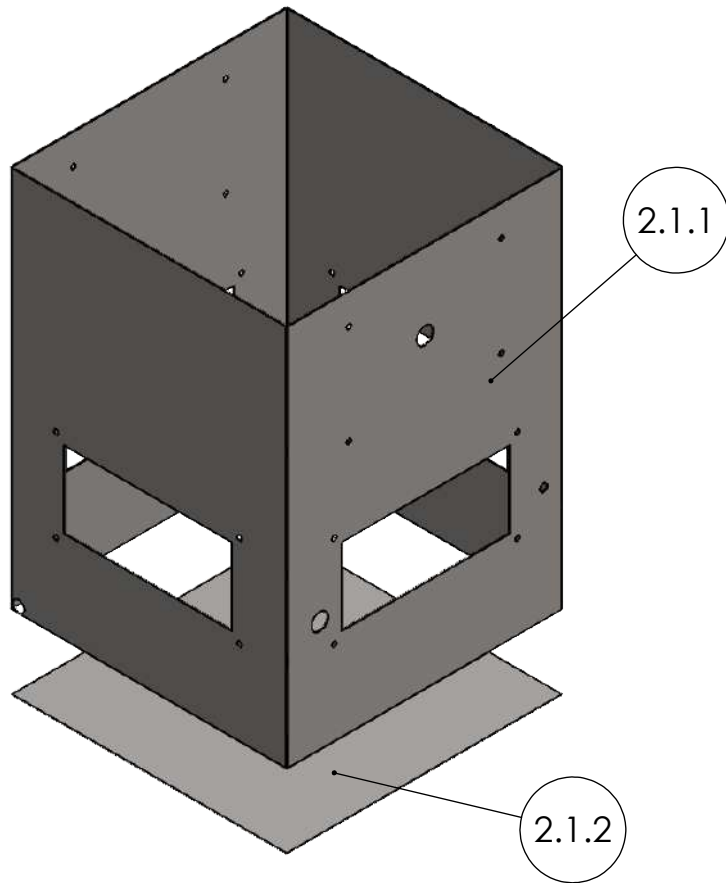


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE ENSAMBLAJE DE PIEZA  
2.1 - CAMISA TORRE

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVIS: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 14/35



#	SUBPIEZA
2.1.1	CAMISA TORRE SUBPIEZA 1
2.1.2	CAMISA TORRE SUBPIEZA 2

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

ENSAMBLADO Y SOLDADO



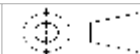
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:8

UNIDADES: MM

A4



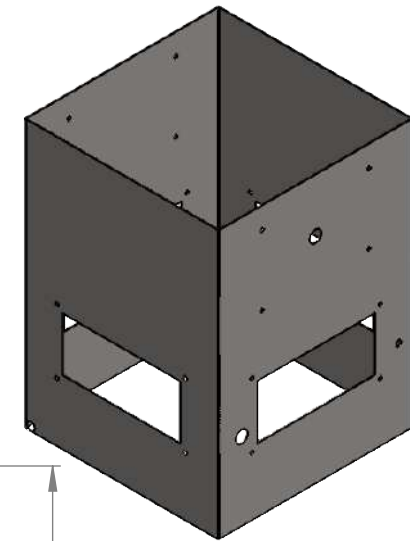
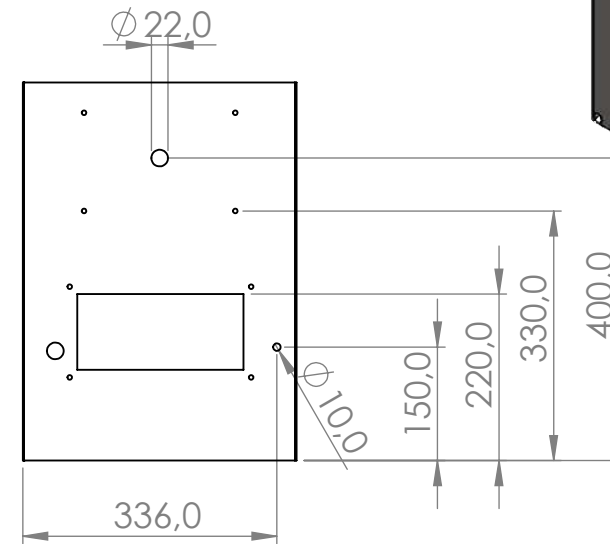
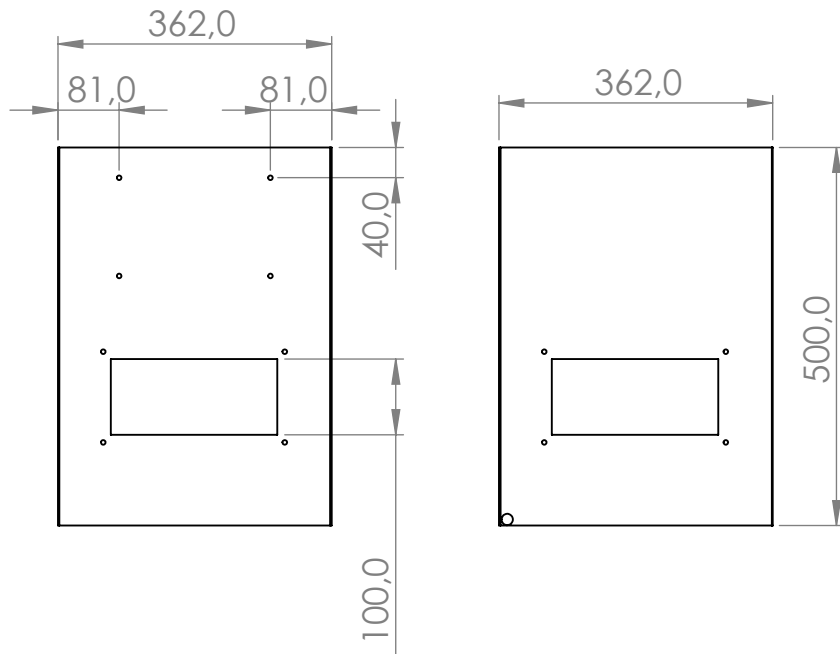
TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE EXPLOSIONADO DE PIEZA  
2.1 - CAMISA TORRE

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVIS: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 15/35

TODAS LAS PERFORACIONES SIN ACOTAR SON DE 6.5 MM POR TODO



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
CORTADO  
DOBLADO A 90 GRADOS



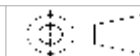
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:10

UNIDADES: MM

A4

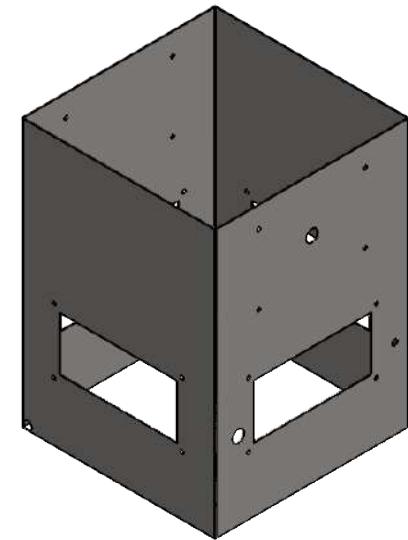
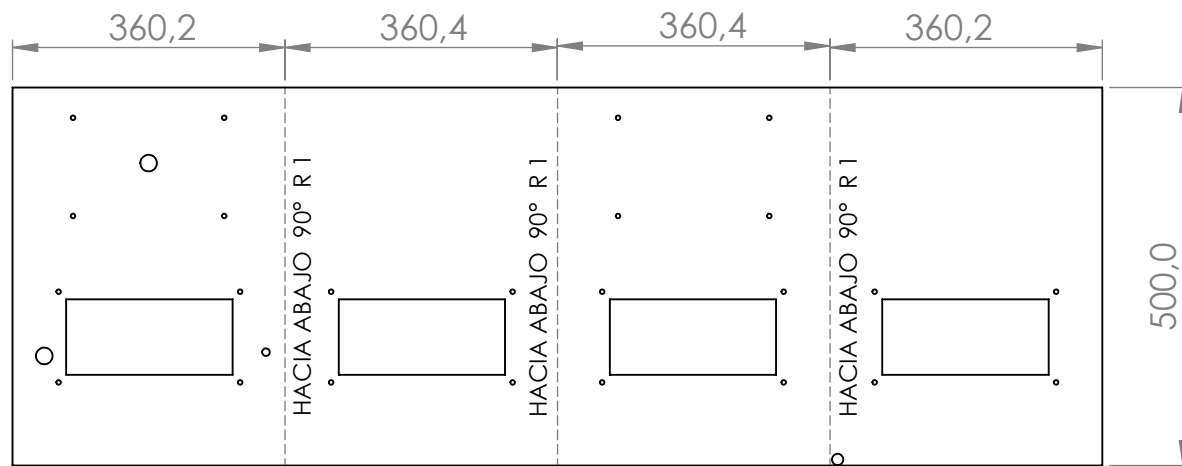


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE SUBPIEZA  
2.1.1 - CAMISA TORRE SUBPIEZA 1

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 16/35



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
CORTADO  
DOBLADO A 90 GRADOS



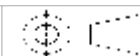
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:10

UNIDADES: MM

A4

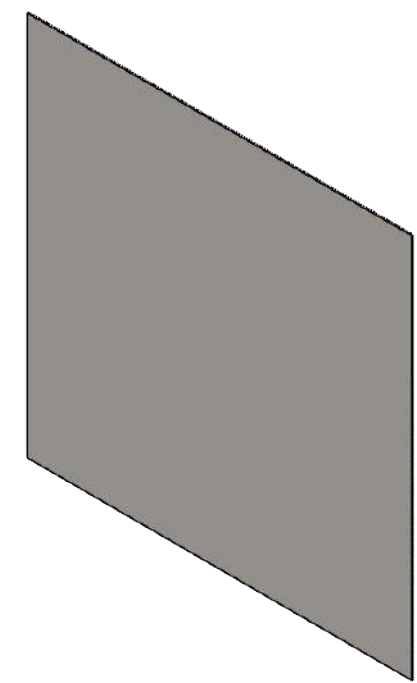
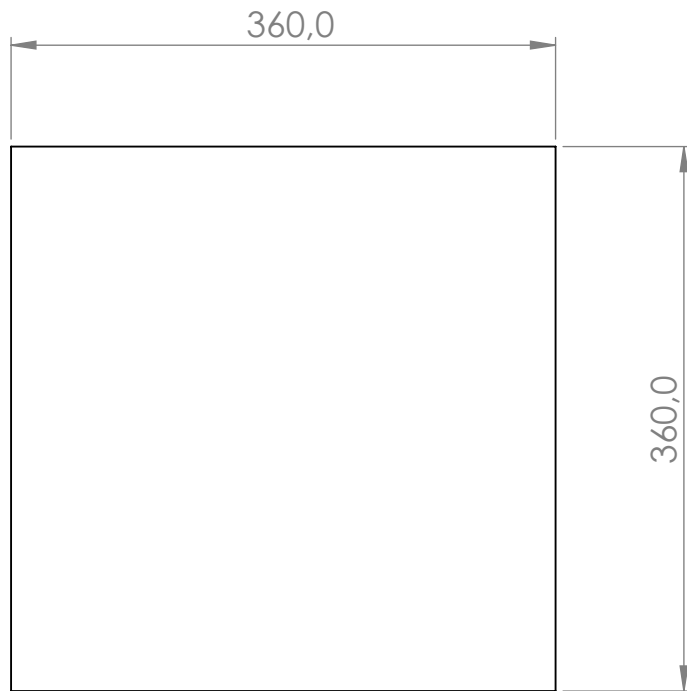


TÍTULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE DESARROLLO DE SUBPIEZA  
2.1.1 - CAMISA TORRE SUBPIEZA 1

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 17/35



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
CORTADO



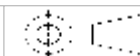
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE  
SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:5

UNIDADES: MM

A4

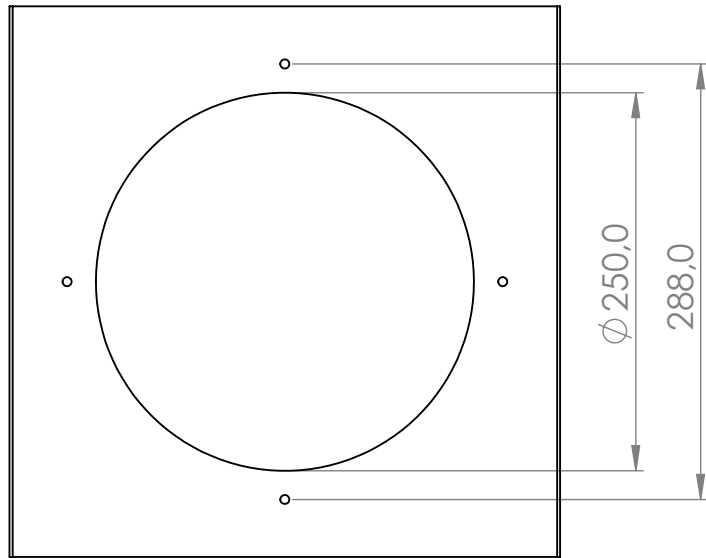


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE SUBPIEZA  
2.1.2 - CAMISA TORRE SUBPIEZA 2

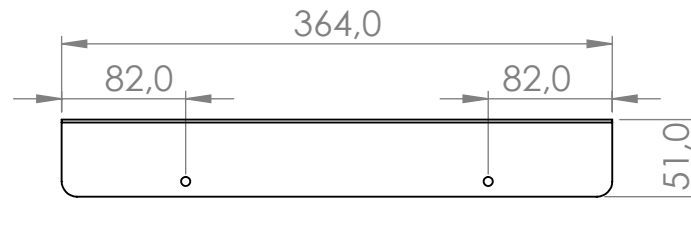
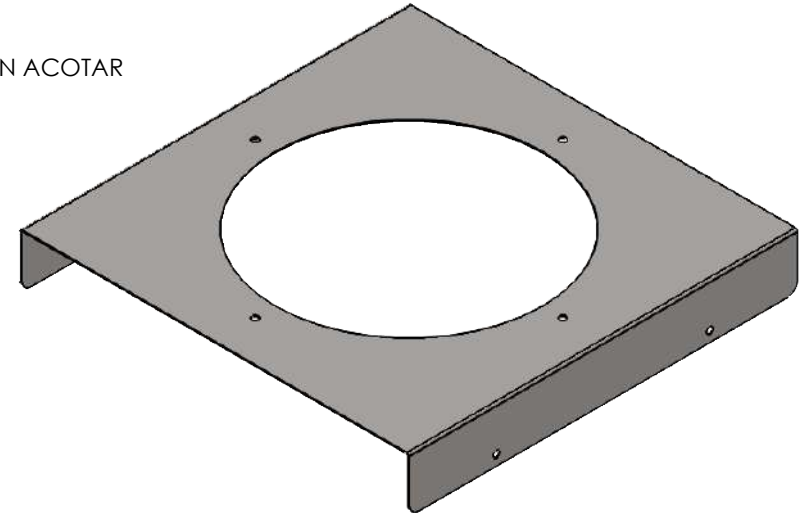
AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 18/35



TODAS LAS PERFORACIONES SIN ACOTAR SON DE 6 MM POR TODO



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
CORTADO  
DOBLADO A 90 GRADOS



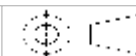
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:5

UNIDADES: MM

A4

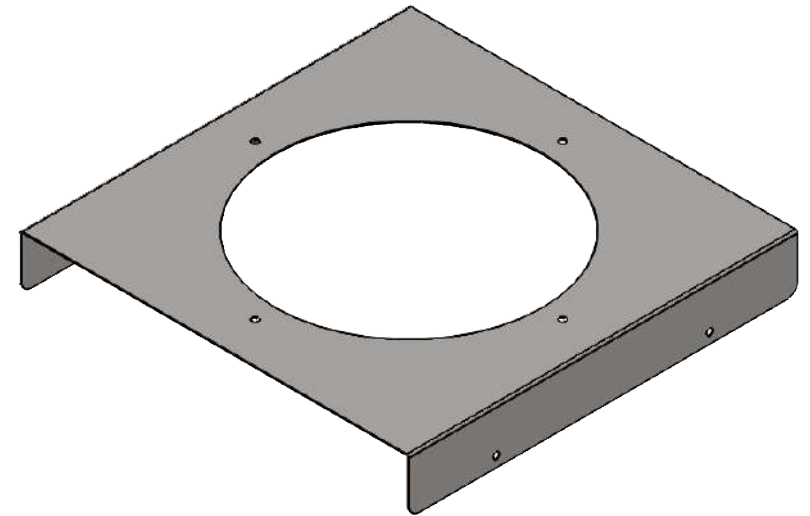
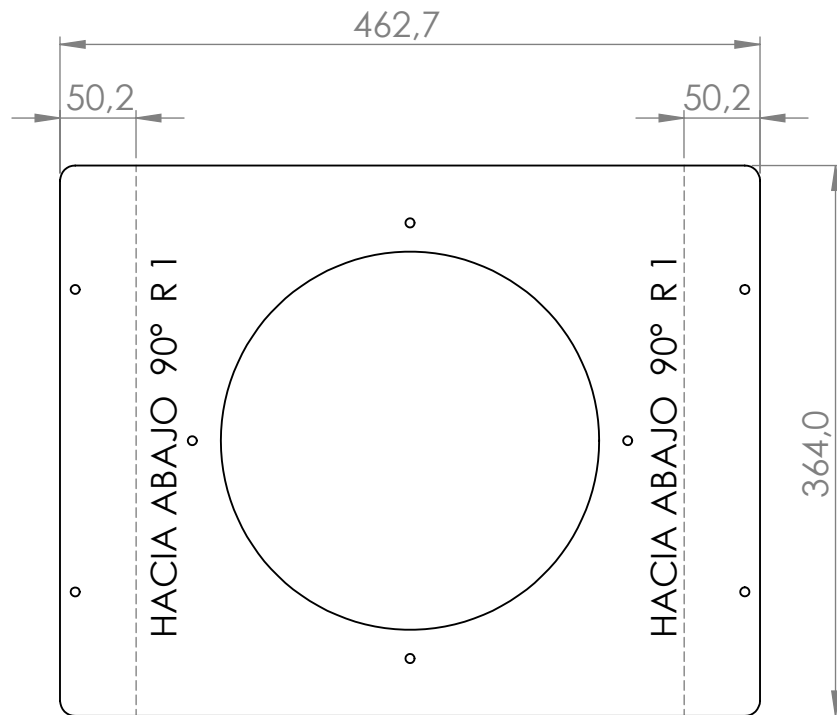


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE PIEZA  
2.2 TAPA TORRE

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 19/35



TODAS LAS PERFORACIONES SIN ACOTAR SON DE 6 MM POR TODO

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
CORTADO  
DOBLADO A 90 GRADOS



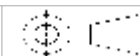
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:5

UNIDADES: MM

A4

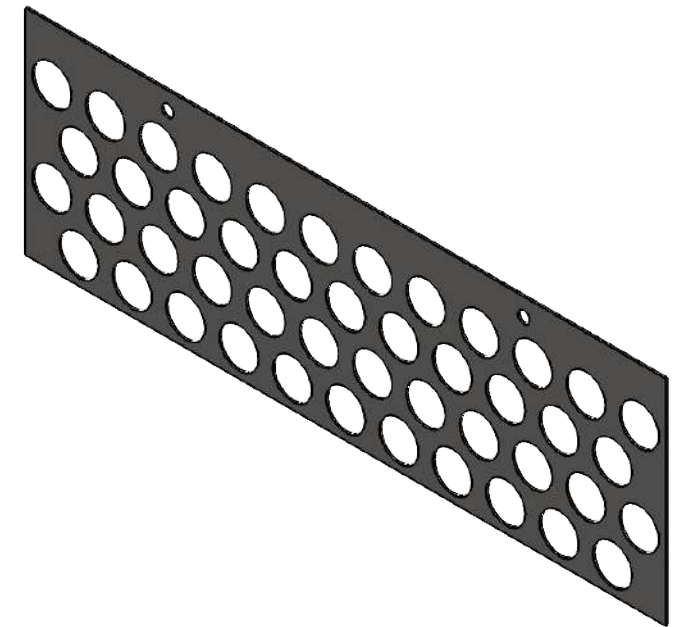
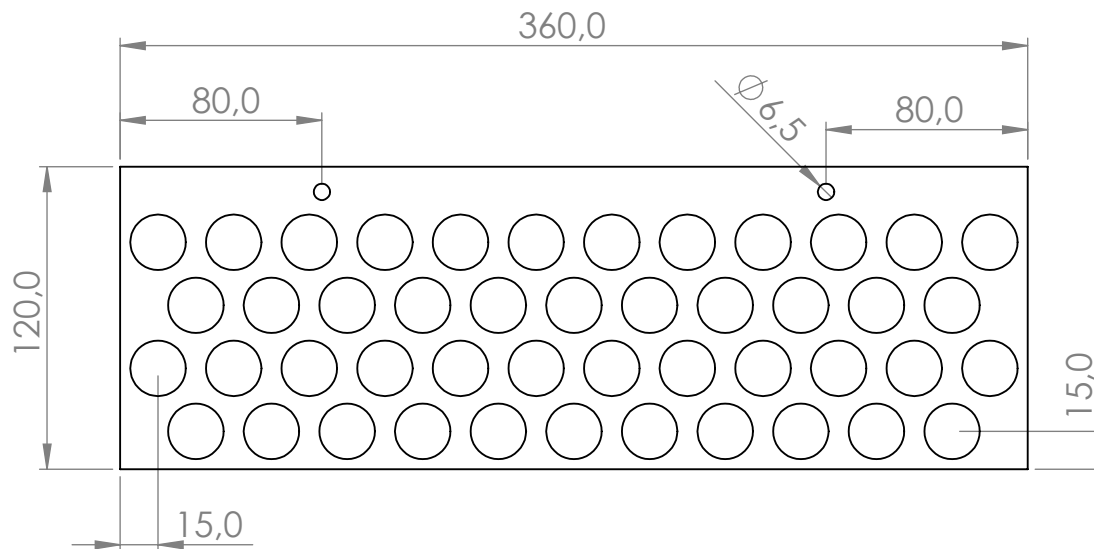


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE DESARROLLO DE PIEZA  
2.2 - TAPA TORRE

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 20/35



DIAMETROS 22 MM (3/4")  
 PASO HORIZONTAL 30 MM  
 PASO VERTICAL 25 MM

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
 CORTADO  
 \*2 PIEZAS IGUALES\*



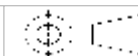
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:5

UNIDADES: MM

A4

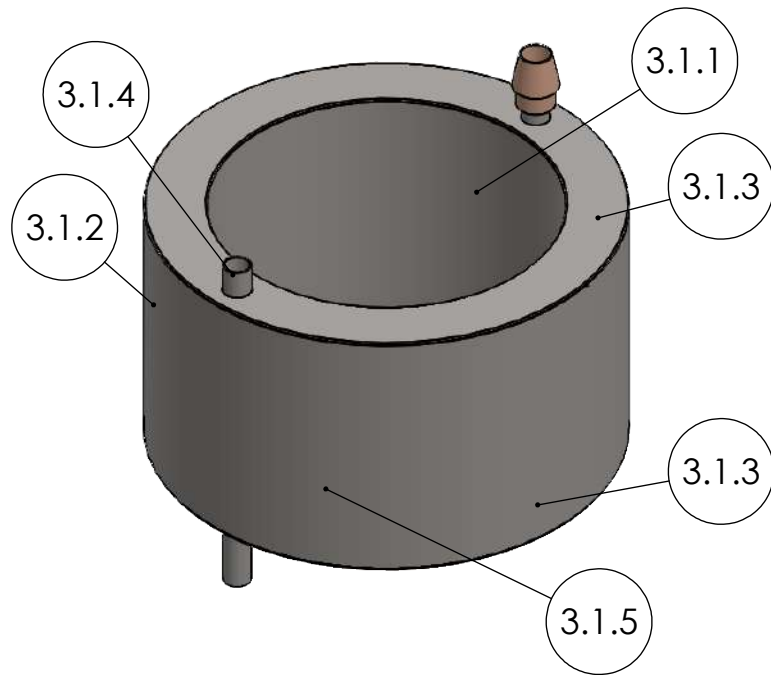


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
 PLANO DE PIEZA  
 2.3 - LÁMINA RELLENO

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 21/35



#	SUBPIEZA
3.1.1	CONDENSADOR SUBPIEZA 1
3.1.2	CONDENSADOR SUBPIEZA 2
3.1.3	CONDENSADOR SUBPIEZA 3
3.1.4	TUBOS ACERO 304 C18 20 MM
3.1.5	BOBINA

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

ENSAMBLADO Y SOLDADO



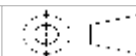
## UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 23/02/24

ESCALA: 1:5

UNIDADES: MM

A4

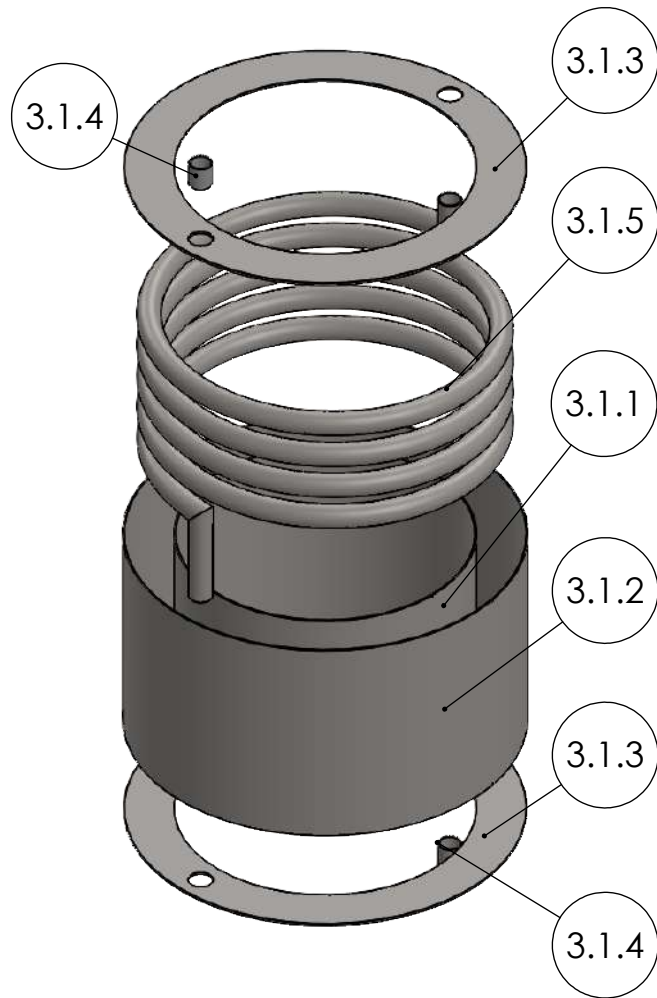


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE ENSAMBLAJE DE PIEZA  
3.1 - CONDENSADOR

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 22/35



#	SUBPIEZA
3.1.1	CONDENSADOR SUBPIEZA 1
3.1.2	CONDENSADOR SUBPIEZA 2
3.1.3	CONDENSADOR SUBPIEZA 3
3.1.4	TUBOS ACERO 304 C18 20 MM
3.1.5	BOBINA

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

ENSAMBLADO Y SOLDADO



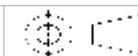
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 23/02/24

ESCALA: 1:5

UNIDADES: MM

A4

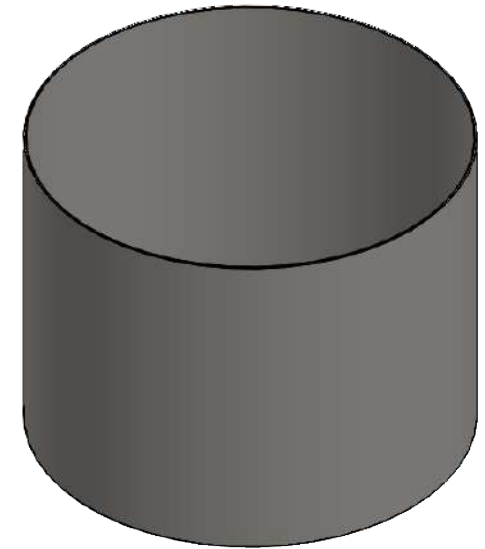
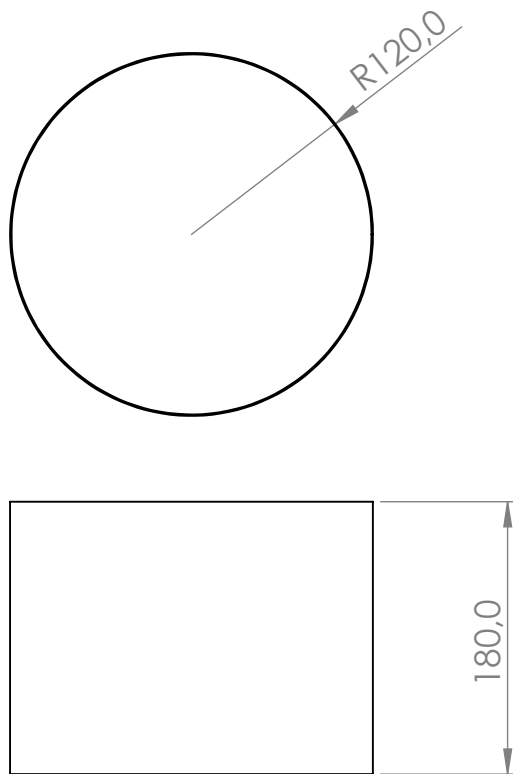


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE EXPLOSIONADO DE PIEZA  
3.1 - CONDENSADOR

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 23/35



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
CORTADO  
ENROLLADO



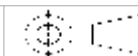
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:5

UNIDADES: MM

A4

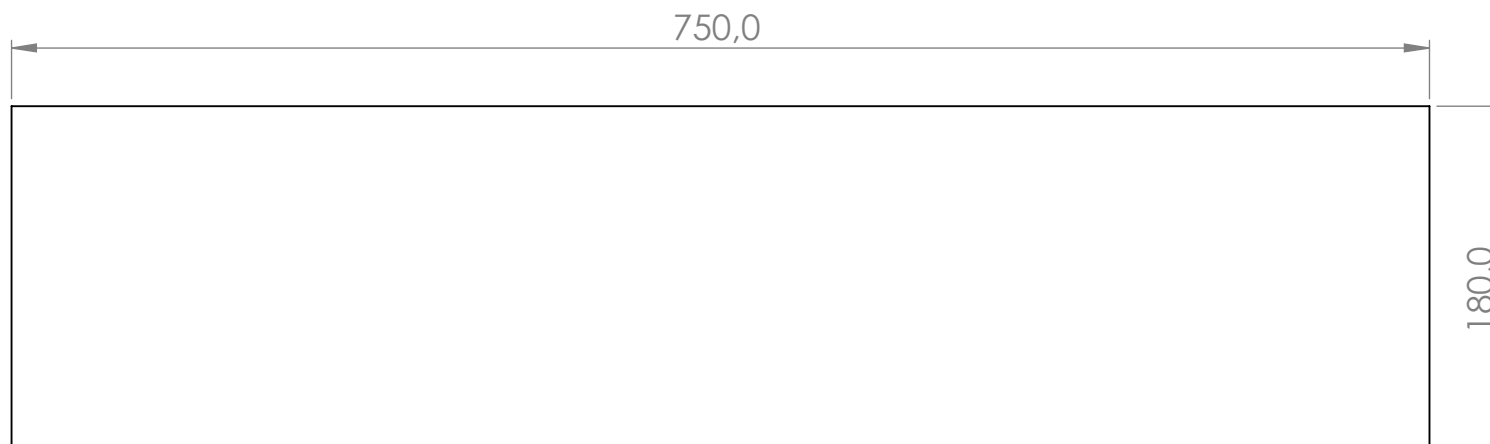
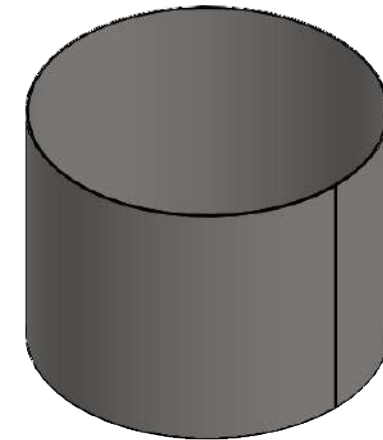


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE SUBPIEZA  
3.1.1 - CONDENSADOR SUBPIEZA 1

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 24/35



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
CORTADO  
ENROLLADO



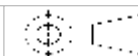
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:4

UNIDADES: MM

A4

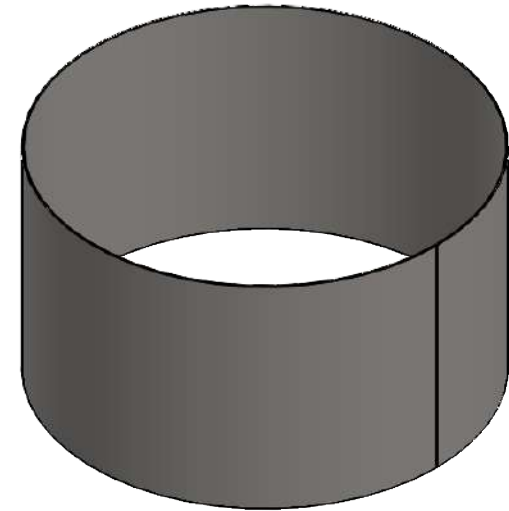
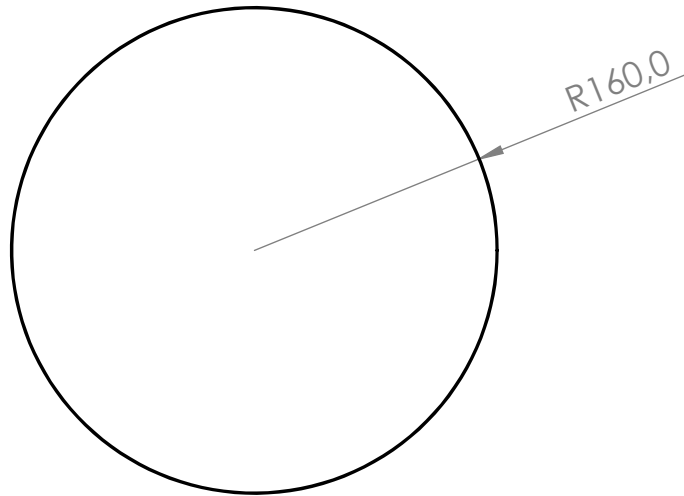


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE DESARROLLO DE SUBPIEZA  
3.1.1 - CONDENSADOR SUBPIEZA 1

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISIA: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 25/35



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
CORTADO  
ENROLLADO



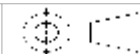
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:5

UNIDADES: MM

A4

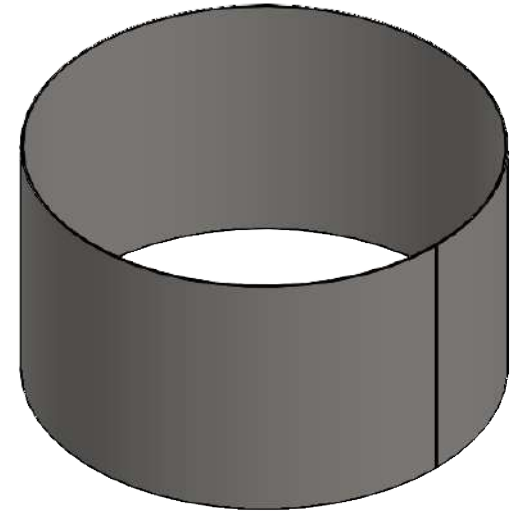


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE SUBPIEZA  
3.1.2 - CONDENSADOR SUBPIEZA 2

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 26/35



1008,0

180,0

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
CORTADO  
ENROLLADO



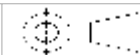
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE  
SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:4

UNIDADES: MM

A4

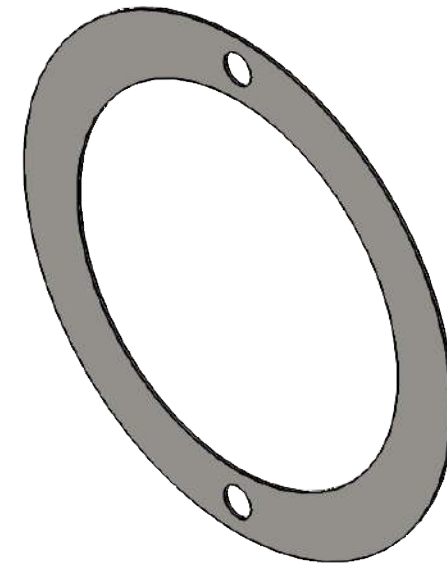
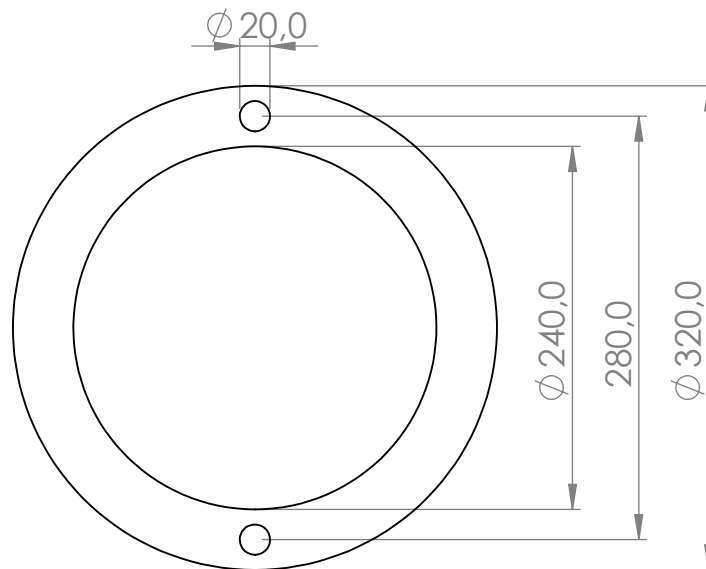


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE DESARROLLO DE SUBPIEZA  
3.1.2 - CONDENSADOR SUBPIEZA 2

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 27/35



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
 CORTADO  
 \* 2 SUBPIEZAS IGUALES \*



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:5

UNIDADES: MM

A4

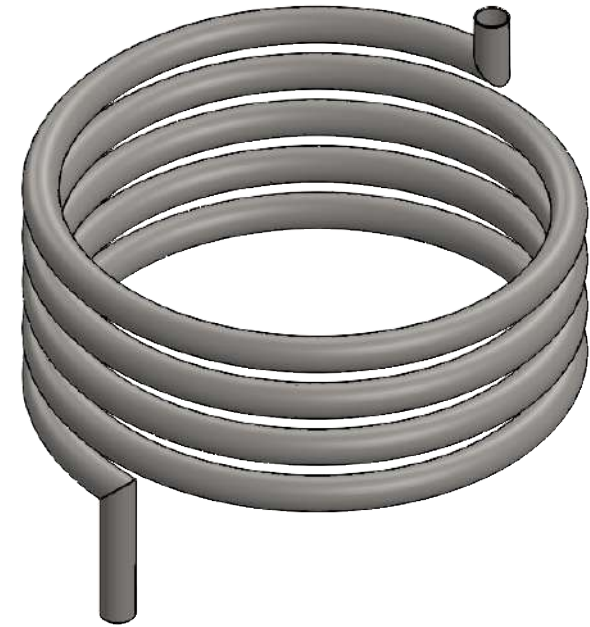
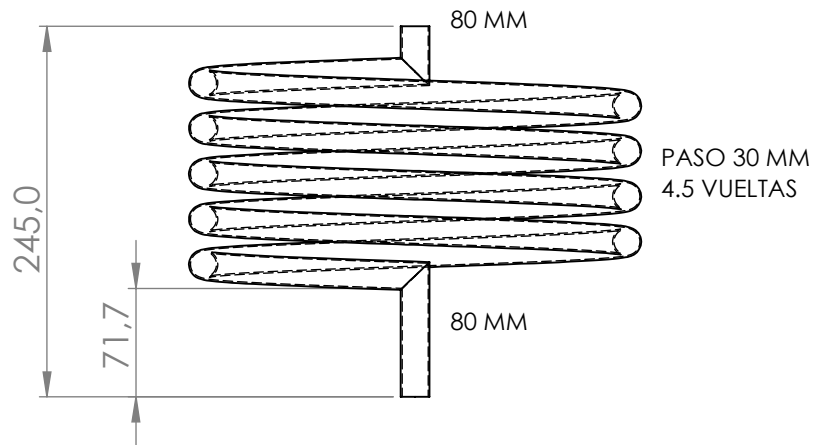
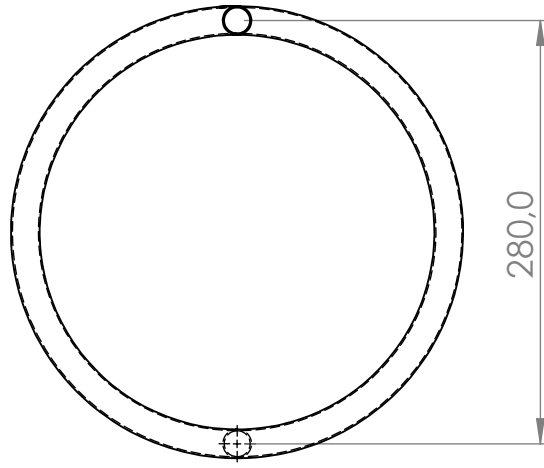


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
 PLANO DE SUBPIEZA  
 3.1.3 - CONDENSADOR SUBPIEZA 3

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 28/35



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE TUBO DE ACERO INOXIDABLE 304 3/4" CALIBRE 18  
EMBOBINADO  
CORTADO



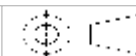
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:5

UNIDADES: MM

A4

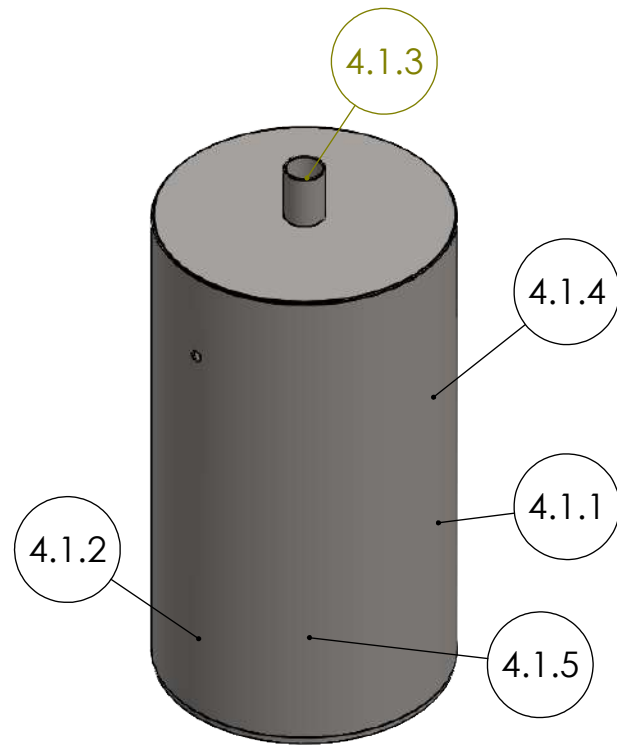


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE SUBPIEZA  
3.1.4 - BOBINA

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 29/35



#	SUBPIEZA
4.1.1	EVAPORADOR SUBPIEZA 1
4.1.2	EVAPORADOR SUBPIEZA 2
4.1.3	EVAPORADOR SUBPIEZA 3
4.1.4	EVAPORADOR SUBPIEZA 4
4.1.5	RACOR HEMBRA 2" NPT

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

ENSAMBLADO Y SOLDADO



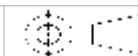
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:4

UNIDADES: MM

A4

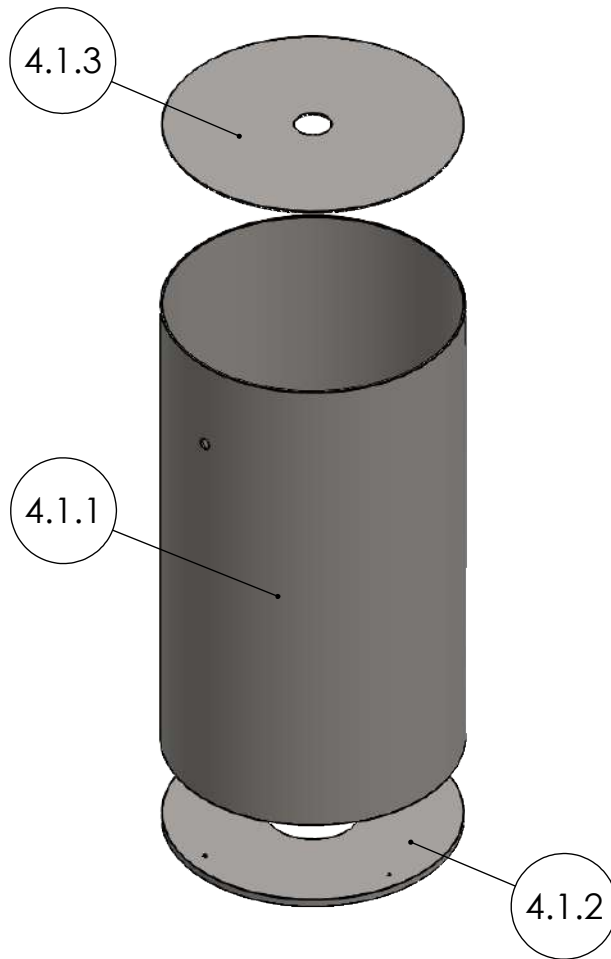


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE ENSAMBLAJE DE PIEZA  
4.1 - EVAPORADOR

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISAR: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 30/35



#	SUBPIEZA
4.1.1	EVAPORADOR SUBPIEZA 1
4.1.2	EVAPORADOR SUBPIEZA 2
4.1.3	EVAPORADOR SUBPIEZA 3

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

ENSAMBLADO Y SOLDADO



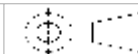
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:4

UNIDADES: MM

A4

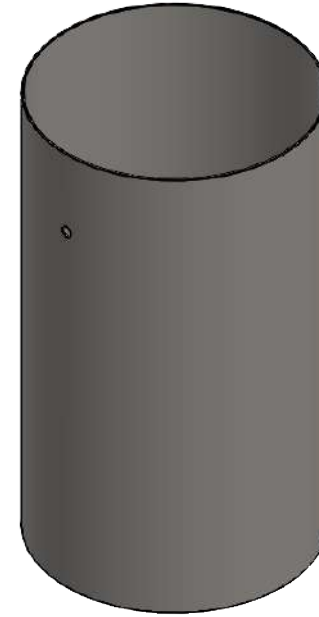
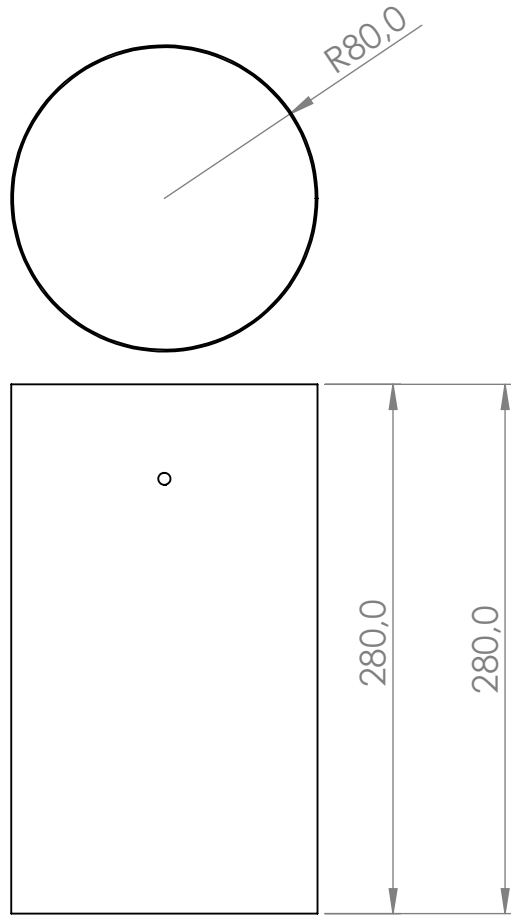


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE EXPLOSIONADO DE PIEZA  
4.1 - EVAPORADOR

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 31/35



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
CORTADO  
ENROLLADO



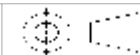
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:4

UNIDADES: MM

A4

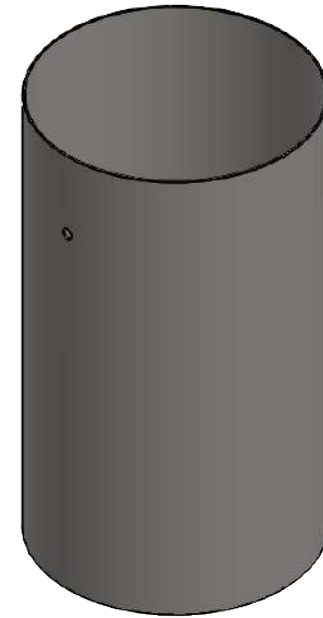
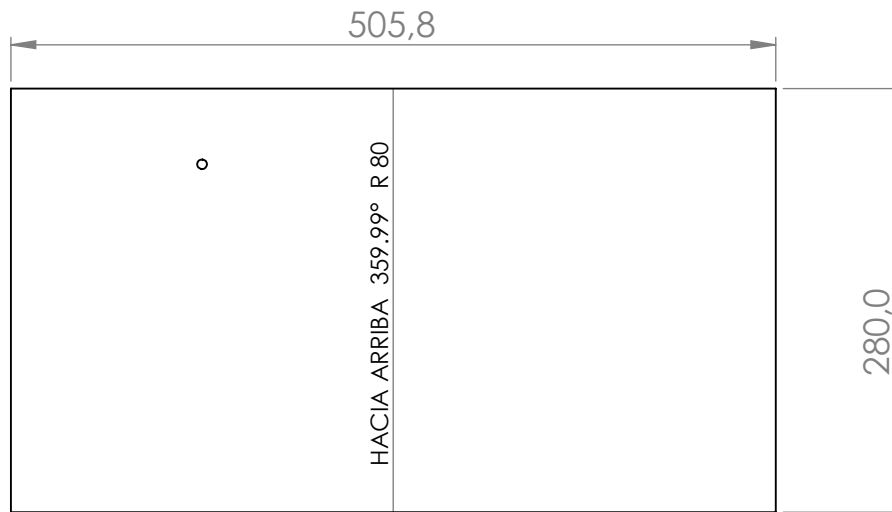


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE SUBPIEZA  
4.1.1 - EVAPORADOR SUBPIEZA 1

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 32/35



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
CORTADO  
ENROLLADO



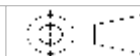
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE  
SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:4

UNIDADES: MM

A4

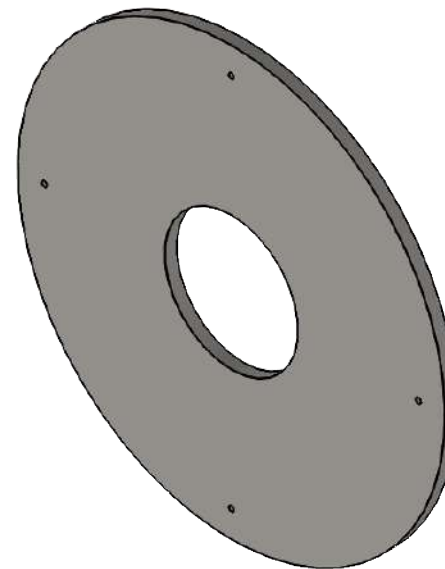
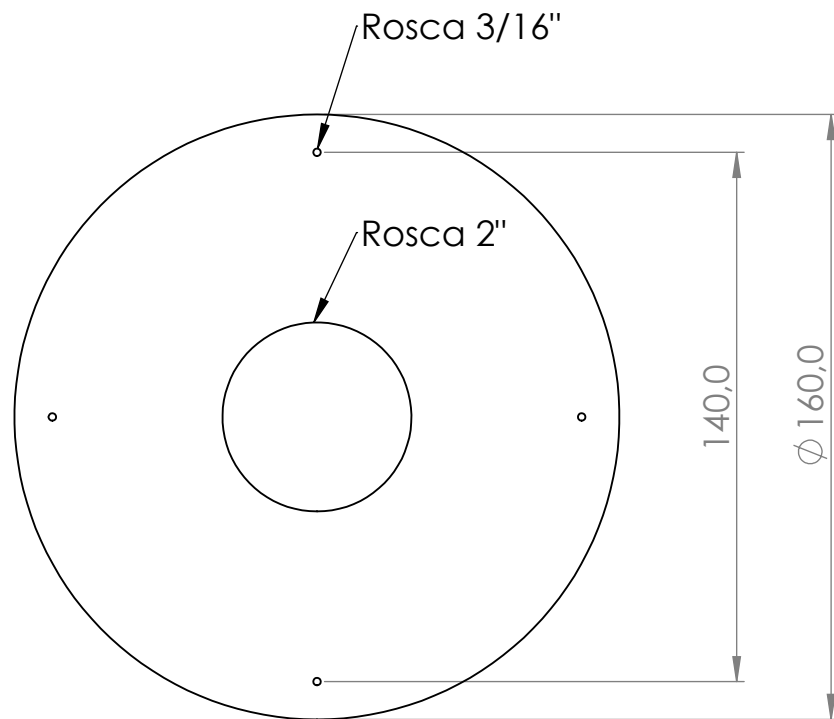


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE DESARROLLO DE SUBPIEZA  
4.1.1 - EVAPORADOR SUBPIEZA 1

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 33/35



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 DE 4.5 MM  
 CORTADO  
 ROSCADO



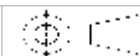
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:2

UNIDADES: MM

A4

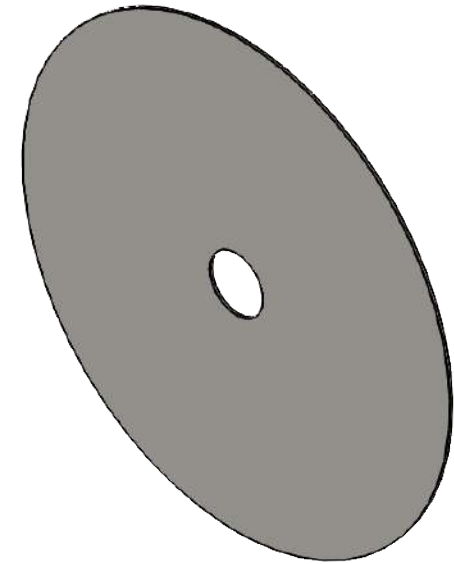
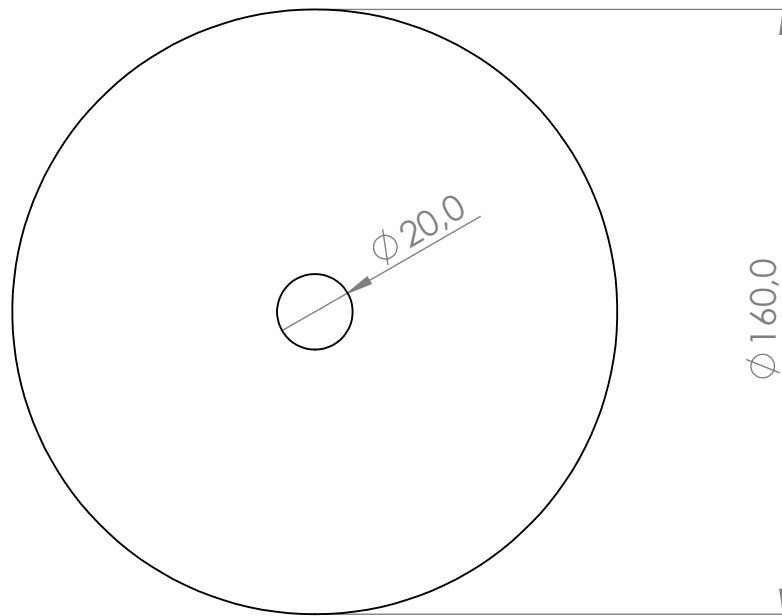


TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
 PLANO DE SUBPIEZA  
 4.1.2 - EVAPORADOR SUBPIEZA 2

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISÁ: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 34/35



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

SE FABRICA A PARTIR DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 18  
CORTADO



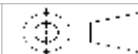
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE  
SANTANDER**

FECHA: 27/02/24

ESCALA: 1:2

UNIDADES: MM

A4



TITULO: DESTILADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PLANO DE SUBPIEZA  
4.1.3 - EVAPORADOR SUBPIEZA 3

AUTOR: CRISTIAN CAMILO JAIMES GUERRERO

REVISIA: PHD. ALBERTO PERTUZ

HOJA 35/35