

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO PARA  
CONOCIMIENTO DE LOS COMPONENTES BÁSICOS DE  
SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE UN  
VAPOR

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por

Luis Diego Castañeda Fernández

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala

2017



IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO PARA  
CONOCIMIENTO DE LOS COMPONENTES BÁSICOS DE  
SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE UN  
VAPOR

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO PARA  
CONOCIMIENTO DE LOS COMPONENTES BÁSICOS DE  
SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE UN  
VAPOR

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por

Luis Diego Castañeda Fernández

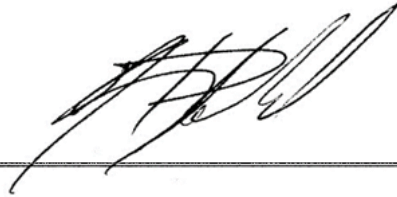
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala

2017

**Vo. Bo. :**

(f)



**Ing. Víctor Hugo Ayerdi Bardales**

**Tribunal Examinador:**

(f)



**Ing. Víctor Hugo Ayerdi Bardales**

(f)



**Ing. Andrés Rodrigo Viau Najarro**

(f)



**Ing. Rony José Herrarte Estévez**

**Fecha de aprobación: Guatemala, 6 de diciembre del 2017.**

## PREFACIO

El trabajo profesional *Implementación de un banco didáctico para conocimiento de los componentes básicos de sistemas de refrigeración por compresión de un vapor* busca aumentar el aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle de Guatemala sobre temas relacionados con termodinámica y con refrigeración. Estos son campos de sumo interés a nivel mundial para un ingeniero mecánico, ya que en la industria siempre se encontrará con algún sistema de refrigeración o una situación donde deba aplicar conocimientos termodinámicos.

Este trabajo tuvo sus limitaciones, ya que al principio se deseaba realizar de forma física el banco didáctico, pero no se pudo obtener el financiamiento económico necesario, por lo tanto, solo se realizó el diseño, se plantearon los pasos necesarios para la construcción del banco didáctico y se realizó un presupuesto.

En este trabajo, fui capaz de aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de mi carrera, así como también fui capaz de aprender nuevos conocimientos para aplicarlos en la realización de este trabajo. Considero que los resultados fueron satisfactorios y espero que en el futuro se lleve a cabo el banco didáctico diseñado en este trabajo.

Deseo agradecer a todas las personas que me apoyaron durante la realización de este trabajo y que contribuyeron, de forma directa o indirecta, con su tiempo, conocimientos y guía. Deseo agradecer especialmente a mi familia, por su apoyo a lo largo de todo este proceso, así como a mi asesor MSc. Víctor Hugo Ayerdi Bardales, por su constante guía y sugerencias.

# ÍNDICE

	Página
Lista de cuadros .....	ix
Lista de figuras .....	x
Resumen .....	xiii
I. Introducción .....	1
II. Objetivos .....	3
A. Objetivo general.....	3
B. Objetivos específicos .....	3
III. Justificación.....	4
IV. Marco teórico .....	5
A. Sistemas didácticos de refrigeración existentes en el mercado .....	5
1. FESTO 3400-3 .....	5
2. FESTO 3431.....	7
3. FESTO 3401-2 .....	9
4. DEGEM SYSTEMS DAR-3300 .....	11
B. Componentes básicos de refrigeración .....	15
1. Compresor .....	15
2. Evaporador .....	19
3. Condensador.....	22
4. Válvula de expansión .....	25
C. Dispositivos de seguridad para el usuario .....	29
1. Presostato de alta presión .....	29
2. Presostato de baja presión.....	30
3. Presostato combinado .....	30

D.	Elementos complementarios y de protección para los componentes básicos del sistema de refrigeración .....	30
1.	Recipiente de líquido .....	31
2.	Filtro de humedad.....	32
3.	Visor.....	32
4.	Acumulador de aspiración.....	33
E.	Refrigerantes.....	33
F.	Tubería para sistemás de refrigeración .....	36
V.	Metodología y resultados .....	38
A.	Diseño de componetes .....	38
1.	Unidad condensadora .....	39
2.	Unidad manejadora.....	40
3.	Válvula de expansión .....	43
4.	Tubería.....	46
B.	Ensamblaje.....	55
C.	Presupuesto .....	66
VI.	Conclusiones .....	67
VII.	Recomendaciones .....	68
VIII.	Bibliografía.....	69
IX.	Anexos.....	71
A.	Cotizaciones.....	71
B.	Renderizados CAD .....	73
C.	Planos de tubería.....	76

## LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Especificaciones técnicas FESTO 3400-3 [10].	6
Cuadro 2. Especificaciones técnicas FESTO 3431 [1].	8
Cuadro 3. Especificaciones técnicas FESTO 3401-2 [2].	10
Cuadro 4. Refrigerantes más utilizados y sus aplicaciones [4].	34
Cuadro 5. Medidas nominales de tubería de cobre tipo “L” [16].	36
Cuadro 6. Condiciones ambientales teóricas en el Maker 502.	38
Cuadro 7. Especificaciones físicas de unidad condensadora CHN005X6B [13].	39
Cuadro 8. Especificaciones eléctricas de unidad condensadora CHN005X6B [13].	40
Cuadro 9. Dimensiones físicas de unidad condensadora CHN005X6B [13].	40
Cuadro 10. Capacidad en BTU/h con respecto a la temperatura de evaporación en la unidad condensadora CHN005X6B [13].	40
Cuadro 11. Condiciones a las cuales entrará el aire a la unidad manejadora.	41
Cuadro 12. Condiciones a las cuales saldrá el aire de la unidad manejadora.	41
Cuadro 13. Especificaciones físicas y eléctricas de la unidad manejadora LH-B002DXB302R000 [19].	42
Cuadro 14. Especificaciones del evaporador de la unidad manejadora LH-B002DXB302R000 [19].	42
Cuadro 15. Dimensiones físicas de la unidad manejadora LH-B002DXB302R000 [19].	42
Cuadro 16. Especificaciones técnicas de la válvula de expansión electrónica ETS 6 – 10 marca DANFOSS [8].	45
Cuadro 17. Largo equivalente de tubería en pies provocada por accesorios [12].	52
Cuadro 18. Largo equivalente de tubería en línea de succión de ½ in.	53
Cuadro 19. Largo equivalente de tubería en línea de líquido de 3/8 in.	53
Cuadro 20. Largos de tubería necesarios.	61
Cuadro 21. Costos de componentes y accesorios necesarios.	66

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. FESTO 3400-3 [10].....	5
Figura 2. FESTO 3431 [1].....	7
Figura 3. FESTO 3401-2 [2].....	9
Figura 4. DAR-3300 [9].....	11
Figura 5. DAR-3311 [9].....	12
Figura 6. DAR-3312 [9].....	13
Figura 7. DAR-3321 [9].....	14
Figura 8. DAR-3300 [9].....	14
Figura 9. Componentes básicos de un sistema de refrigeración [11].....	15
Figura 10. Compresor alternativo [11].....	16
Figura 11. Compresor hermético [11].....	16
Figura 12. Vista superior de un compresor hermético [11].....	17
Figura 13. Tapa de cámara silenciadora, culata y placa de válvulas [11].....	17
Figura 14. Compresor semi-hermético [11].....	18
Figura 15. Compresor abierto con acoplamiento directo [11].....	19
Figura 16. Unidad condensadora [11].....	19
Figura 17. Instalación con evaporadores inundados [17].....	20
Figura 18. Evaporador semi-inundado [17].....	20
Figura 19. Evaporador seco [17].....	21
Figura 20. Evaporador de tubo liso [17].....	21
Figura 21. Evaporador con aletas [17].....	22
Figura 22. Unidad manejadora [15].....	22
Figura 23. Condensador de doble tubo [6].....	23
Figura 24. Condensador multi-tubular horizontal [6].....	24
Figura 25. Condensador de tubo liso [6].....	24
Figura 26. Condensador de tubo con aletas, de aire forzado [6].....	25
Figura 27. Condensador evaporativo [6].....	25
Figura 28. Válvula manual de expansión [18].....	26
Figura 29. Instalación de refrigerador domestico con tubo capilar [18].....	27
Figura 30. Válvula de expansión termostática [18].....	27

Figura 31. Presiones que actúan en la válvula de expansión termostática [18].	28
Figura 32. Válvula de expansión de flotador de baja presión [18].	28
Figura 33. Válvula de expansión electrónica motorizada [18].	29
Figura 34. Presostato combinado [3].	30
Figura 35. Recipiente de líquido horizontal [20].	31
Figura 36. Recipiente de líquido vertical [20].	31
Figura 37. Filtro de humedad [20].	32
Figura 38. Filtro de humedad reversible [20].	32
Figura 39. Visor [20].	33
Figura 40. Acumulador de aspiración [20].	33
Figura 41. Diagrama de Mollier para refrigerante R407C [4].	35
Figura 42. Bosquejo de unidad condensadora CHN005X6B [13].	40
Figura 43. Bosquejo de unidad manejadora LH-B002DXB302R000 [19].	43
Figura 44. Capacidades de refrigeración de válvula electrónica de expansión marca DANFOSS ETS 6 – 10 [8].	44
Figura 45. Dimensiones de la válvula de expansión electrónica ETS 6 – 10 marca DANFOSS [8].	45
Figura 46. Selección de válvula de expansión electrónica con software “Coolselector 2” de la marca DANFOSS.	46
Figura 47. Vista superior del banco (medidas en milímetros).	46
Figura 48. Vista frontal del banco (medidas en milímetros).	47
Figura 49. Posición de la unidad condensadora en el banco (medidas en milímetros).	47
Figura 50. Posición de la unidad manejadora en el banco (medidas en milímetros).	48
Figura 51. Bosquejo de tubería de succión con sus respectivas medidas en pies.	49
Figura 52. Bosquejo de tubería de líquido con sus respectivas medidas en pies.	50
Figura 53. Diámetro exterior de tubería de cobre tipo “L” recomendada [12].	51
Figura 54. Diseño CAD del sistema de refrigeración diseñado.	54
Figura 55. Diámetros y área de roscas unificadas de tornillo UNC y UNF [5].	56
Figura 56. Especificación SAE para pernos de acero [5].	56
Figura 57. Posición de la unidad condensadora en el banco (medidas en milímetros).	57
Figura 58. Ensamblaje de los pernos necesarios para fijar la unidad condensadora.	57
Figura 59. Dimensiones de las placas de fijación de la unidad manejadora en milímetros.	58
Figura 60. Posición de las placas de fijación de la unidad manejadora en milímetros.	58
Figura 61. Posición de la unidad manejadora en el banco (medidas en milímetros).	60

Figura 62. Ensamblaje de los pernos necesarios para fijar la unidad manejadora. ....	60
Figura 63. Corta tubo [14]. ....	61
Figura 64. Eliminación de rebabas con escariador [14]. ....	61
Figura 65. Limpieza superficial de tubería [14]. ....	62
Figura 66. Aplicación de decapante [14]. ....	62
Figura 67. Montaje entre tubo y accesorio [14]. ....	62
Figura 68. Montaje de tubería en el banco. ....	63
Figura 69. Calentamiento de las superficies a soldar [14]. ....	64
Figura 70. Aplicación del material de aporte [14]. ....	64
Figura 71. Limpieza final [14]. ....	64
Figura 72. Posición final de la válvula de expansión respecto al banco, medidas en milímetros. ....	65
Figura 73. Refrigerante R407C [4]. ....	65
Figura 74. Cotización de elementos básicos de un sistema de refrigeración. ....	71
Figura 75. Cotización de elementos de sujeción. ....	71
Figura 76. Cotización de tubería, accesorios y refrigerante. ....	72
Figura 77. Renderizado #1. ....	73
Figura 78. Renderizado #2. ....	74
Figura 79. Renderizado #3. ....	74
Figura 80. Renderizado #4. ....	75
Figura 81. Numeración de cada elemento que conforma el sistema de refrigeración. ....	76
Figura 82. Plano de la sección de tubería #1. ....	77
Figura 83. Plano de la sección de tubería #2. ....	77
Figura 84. Plano de la sección de tubería #3. ....	78
Figura 85. Plano de la sección de tubería #4. ....	78
Figura 86. Plano de la sección de tubería #5. ....	79
Figura 87. Plano de la sección de tubería #6. ....	79
Figura 88. Plano de la sección de tubería #7. ....	80
Figura 89. Plano de la sección de tubería #8. ....	80
Figura 90. Plano de la sección de tubería #9. ....	81
Figura 91. Plano de la sección de tubería #10. ....	81
Figura 92. Plano de la sección de tubería #11. ....	82
Figura 93. Plano de la sección de tubería #12. ....	82

## RESUMEN

La construcción de un banco para pruebas de un sistema de refrigeración tiene como objetivo elaborar un sistema de refrigeración que sea benéfico para el aprendizaje de los estudiantes de la Universidad del Valle de Guatemala. Este sistema didáctico de refrigeración contará con los componentes básicos de refrigeración, así como componentes de control, instrumentos de variación y lectura de variables. El sistema será completamente funcional para que el estudiante aprenda de manera práctica el funcionamiento de un sistema de refrigeración.

La implementación de un banco didáctico para conocimiento de los componentes básicos de sistemas de refrigeración por compresión de un vapor consistirá en transformar un sistema de refrigeración común en uno didáctico, tomando en cuenta que la función de este es ayudar y promover el aprendizaje de los estudiantes y realizándolo con todos los elementos de seguridad necesarios.

Para lograr esto de primero se investigó sobre los diferentes sistemas de refrigeración didácticos existentes en el mercado, para lograr diseñar los componentes y el sistema didáctico con el objetivo de que sea fácil de comprender para los estudiantes. Luego se investigó sobre los componentes básicos que conforman a un sistema de refrigeración, para lograr diseñarlos, seleccionarlos y diseñar todos los elementos necesarios para la elaboración del banco didáctico.

Al completar este trabajo se logró diseñar y seleccionar los componentes básicos necesarios para el sistema de refrigeración. Se planteó un proceso de ensamblaje para el sistema y se realizó un presupuesto tomando en cuenta todos los elementos y accesorios necesarios para realizar el sistema.

# I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de refrigeración por compresión de un vapor son aplicados desde aplicaciones domésticas, como son los sistemas de aire acondicionado para comodidad de las personas o las refrigeradoras domésticas, hasta usos industriales, como lo son los cuartos fríos para la conservación de productos perecederos. Por ello es muy importante para un estudiante de ingeniería mecánica contar un sistema de refrigeración didáctico, para poder interactuar físicamente con este tipo de sistemas. Este trabajo de graduación consiste en el diseño de los componentes básicos necesarios para realizar dicho banco didáctico de refrigeración por compresión de un vapor.

Los componentes básicos de un sistema de refrigeración son el compresor, el condensador, la válvula de expansión y el evaporador. Ya que se desea realizar un banco didáctico, lo más importante es contar con todos los componentes de seguridad, tanto para los usuarios como para el buen funcionamiento del sistema, que podremos encontrar en la industria. Es debido a esto que se inició el diseño del sistema con la selección de una unidad condensadora (la cual es la unión del compresor, condensador y accesorios de seguridad y accesorios para el buen funcionamiento del sistema) que contara con todos los elementos más utilizados a nivel industrial.

Luego se procedió a la selección de una unidad manejadora (la cual es un evaporador de flujo forzado que cuentan con una entrada de aire, una salida y un filtro) que pudiera absorber una menor carga térmica que la que podía disipar del sistema la unidad condensadora necesaria. Al contar con estos dos componentes se diseñaron las condiciones de operación del sistema y se determinó la carga térmica existente en el sistema. Estos valores se utilizaron para seleccionar una válvula de expansión que pudiera funcionar en dichas condiciones. Se planteó la utilización de una válvula de expansión electrónica, ya que esta puede regularse en cuestión de segundos, lo cual es necesario para realizar diferentes laboratorios con el sistema.

Al contar ya con los elementos básicos seleccionados se realizó el diseño de la tubería necesaria para unir los componentes. La tubería se divide en dos secciones principales, la sección de líquido, la cual es la tubería desde la unidad condensadora hasta la válvula de expansión. Y la sección de succión que es la tubería desde la válvula de expansión hasta la unidad condensadora. Por último, se procedió a describir el proceso de montaje de los componentes y los accesorios necesarios para este proceso. Además, se describió cual es el proceso de soldadura de la tubería, el proceso de vacío necesario para la carga del refrigerante y el proceso de carga del refrigerante en el sistema.

En conclusión, por medio de este trabajo se logró diseñar un sistema de refrigeración que contará con una unidad condensadora CHN005X6B de la marca Chandler, una unidad manejadora LH-B002DXb302R000

de la marca Williams y una válvula de expansión electrónica ETS 6 – 10 de la marca Danfoss. Además, se logró diseñar la tubería necesaria para el sistema, siendo esta una tubería de  $\frac{1}{2}$  in de diámetro para la línea de succión y de  $\frac{3}{8}$  in de diámetro para la línea de líquido. Además, se realizó la cotización de todos los elementos seleccionados y diseñados.

## II. OBJETIVOS

### A.OBJETIVO GENERAL

- Elaborar un banco didáctico de prácticas de laboratorio que incluya los componentes básicos de un sistema de refrigeración que sea benéfico para el aprendizaje de los estudiantes de la Universidad del Valle de Guatemala.

### B.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los requerimientos para desarrollar un sistema de refrigeración didáctico acorde a las necesidades de UVG.
- Implementar dispositivos de seguridad para el usuario, y para el buen funcionamiento del sistema didáctico de refrigeración.
- Diseñar un sistema que permita elaborar diferentes prácticas de laboratorio para realizar con el banco de pruebas de sistemas de refrigeración.

### III. JUSTIFICACIÓN

En el departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle de Guatemala no existe ningún sistema de refrigeración didáctico por compresión de un vapor al cual un estudiante pueda acceder, controlar y aprender del sistema, mientras observa el funcionamiento de este. Contar con dicho sistema es de mucha importancia, ya que sería utilizado para que el estudiante pueda conocer prácticamente como es, cómo funciona un sistema de refrigeración, y llegar a comparar la teoría con la práctica. Además, dichos sistemas didácticos de refrigeración son de un costo muy elevado en el mercado. Por lo tanto, se propone realizar un sistema de refrigeración didáctico, con el cual los estudiantes podrían realizar diferentes prácticas de laboratorio en los cursos de termodinámica y refrigeración y acondicionamiento de aire.

Este trabajo es importante ya que, con él, el estudiante podrá familiarizarse con la apariencia y características de los componentes de un sistema de refrigeración. Adicionalmente, servirá para garantizar que el sistema es seguro para el usuario.

## IV. MARCO TEÓRICO

### A. SISTEMAS DIDÁCTICOS DE REFRIGERACIÓN EXISTENTES EN EL MERCADO

En el mercado global existen diferentes compañías que se dedican a la realización de sistemas didácticos de refrigeración. Es importante conocer con que cuentan estos sistemas para obtener una idea más clara sobre que componentes deben llevar y con qué elementos deben contar dichos sistemas. A continuación, se presentan algunos de los sistemas existentes en el mercado y sus características.

1. FESTO 3400-3. Este modelo está catalogado como un demostrador del funcionamiento de un sistema de refrigeración. El demostrador está diseñado para mostrar las distintas etapas a las que se somete el refrigerante en los sistemas de refrigeración más comunes [10].

Figura 1. FESTO 3400-3 [10].



#### a. Características [10]

- Secciones de tubo transparente dentro de los serpentines del evaporador y del condensador para permitir a los estudiantes observar como fluye el refrigerante y los cambios de estado a los cuales es sometido.
- Evaporador y condensador aislados del medio ambiente.
- Demostración del funcionamiento del sistema como una bomba de calor por medio de cuatro válvulas manuales que permiten la inversión del flujo de refrigerante.

- Ventiladores de velocidad variable para simular condiciones ambientales cambiantes.
- Panel para la obtención del flujo de refrigerante y el cambio de estado dentro del sistema de refrigeración.
- Seis diferentes modos de fallos para simular el mal funcionamiento de un sistema de refrigeración común.
- Soporte móvil de acero de alta resistencia.
- Variedad de instrumentación, incluyendo medidor de temperatura, medidores de compuestos, medidores de presión, interruptores de circuito, y lámparas indicadoras.
- Elementos de seguridad como un interruptor de circuito y un interruptor de presión.
- Utilización de refrigerante R-134a.

b. Especificaciones técnicas [10]

Cuadro 1. Especificaciones técnicas FESTO 3400-3 [10].

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Requerimientos energéticos</b>	
Corriente	3A
Servicio instalado	Salida de corriente monofásica estándar
<b>Compresor</b>	
Tipo	Sellado herméticamente
Potencia nominal	170 W (0.25 hp)
<b>Refrigerante</b>	R-134a.
<b>Evaporador</b>	Tubos de cobre con secciones transparentes, con un ventilador de velocidad variable.
<b>Condensador</b>	Tubos de cobre con secciones transparentes, con un ventilador de velocidad variable.
<b>Dispositivos de control</b>	Interruptor de alta presión, interruptor de baja presión, válvula de expansión termostática, tubo capilar, válvula de expansión para bomba de calor, y válvula de inversión de flujo.
<b>Instrumentación</b>	Medidor de temperatura, medidores compuestos, manómetros e indicadores luminosos.
<b>Protección</b>	Interruptor de presión e interruptor principal.
<b>Interruptores de fallos</b>	Seis
<b>Características físicas</b>	
Dimensiones	1900 x 2100 x 800 mm (74.8 x 83 x 31.5 in)
Peso	140 kg (308 lb)

2.FESTO 3431. Este modelo está catalogado como un sistema didáctico en refrigeración. El sistema didáctico está diseñado para enseñar los fundamentos de la refrigeración, siendo un sistema compacto, que demuestra el funcionamiento de los sistemas de refrigeración típicos que utilizan los equipos industriales y comerciales. Este sistema de refrigeración ya cuenta con una herramienta de adquisición de datos para que los estudiantes puedan controlar fácilmente las condiciones de operación en tiempo real [1].

Figura 2. FESTO 3431 [1].



#### a. Características [1]

- El sistema didáctico en refrigeración puede ser montado fácilmente sobre una mesa o banco, gracias a su diseño compacto.
- Cuenta con una cámara de enfriamiento con una compuerta de acrílico que contiene un evaporador de aire forzado.
- Incluye una unidad de condensación comercial, que utiliza refrigerante R134a.
- Condensador de aire forzado con un ventilador de velocidad variable.
- Válvula de expansión termostática y dos tubos capilares de diferentes longitudes para comparar los coeficientes de rendimiento obtenidos con diferentes dispositivos de expansión.
- Dispositivos de medición del tubo capilar.
- Control de presión electrónico con pantalla LCD.
- Control termostático.
- Control de presión.
- Simulación de carga de calor.

- Siete transductores de termopar y tres transductores de presión utilizados para la adquisición de datos en los puntos críticos del sistema.
- Acondicionamiento de la tensión y la corriente del compresor.
- Interruptor de inserción de averías.
- Elementos de seguridad como un interruptor de circuito y un interruptor de presión.
- Interruptor de seguridad de alta presión con interruptor de rearme manual.
- Cuenta con un potente sistema de adquisición de datos (software de LVHVAC) para el monitoreo en tiempo real.

b. Especificaciones técnicas [1]

Cuadro 2. Especificaciones técnicas FESTO 3431 [1].

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Requerimientos energéticos</b>	
Corriente	6A
Servicio instalado	Salida de corriente monofásica estándar
<b>Compresor</b>	
Tipo	Sellado herméticamente, protegido térmicamente.
Potencia nominal	124 W (0.167 hp)
<b>Refrigerante</b>	R-134a. Carga nominal de 1.09 kg (2.4lb)
<b>Presión de operación</b>	
Baja	1.4 barg (20 psig)
Alta	7.6 barg (110 psig)
<b>Evaporador</b>	
Tipo	De aire forzado con ventilador de velocidad variable encerrado en una cámara de enfriamiento.
Corriente requerida	0.58 A
<b>Condensador</b>	
Tipo	De aire forzado con ventilador de velocidad variable.
Corriente requerida	0.41 A
<b>Dispositivos de seguridad</b>	Controlador de alta presión con interruptor manual de reinicio.
<b>Dispositivos de control</b>	Una válvula de expansión termostática, dos tubos capilares de diferentes largos, controlador de baja presión con pantalla LCD, controlador de temperatura ajustable y válvulas solenoides.
<b>Instrumentación</b>	Medidores de alta y baja presión.
<b>Sensores</b>	

Continuación Cuadro 2

Termopares	Siete, de tipo "J".
Transductores de presión	Dos de 0-690 kPa (0-100 psi) y uno de 0-1034 kPa (0-150 psi)
Voltaje y corriente	Uno de 0-5 A AC y uno de 0-150V AC
<b>Interruptores de fallos</b>	Seis.
<b>Dimensiones</b>	910 x 840 x 720 mm (35.8 x 33.1 x 28.3 in)

3. FESTO 3401-2. Este modelo está catalogado como un sistema de entrenamiento de refrigeración. El sistema de entrenamiento está diseñado para enseñar los principios y componentes en un sistema de refrigeración que utiliza dispositivos industriales y comerciales. Este sistema de refrigeración demuestra el funcionamiento de las configuraciones de sistemas de refrigeración comunes, incluyendo los sistemas de evaporación doble [2].

Figura 3. FESTO 3401-2 [2].



a. Características [2]

- Dos evaporadores de aire forzado que pueden fusionar individualmente, en serie, o en paralelo, encerrados en cámaras con ventanas de acrílico transparente.
- Ventiladores de velocidad variable para simular las condiciones ambientales cambiantes
- Panel esquemático con los diagramas eléctricos y de tuberías.

- Interruptores de fallos para poder provocar hasta 18 fallos eléctricos distintos en el sistema.
- Estructura móvil de acero de alta resistencia con ruedas reforzadas.
- Cuenta con medidores de: temperatura, vatios, voltios, amperios, así como medidores de presión.
- Interruptores de circuito eléctrico e interruptores de seguridad por presión, para proteger el sistema.
- Refrigerante utilizado: R-134a.

b. Especificaciones técnicas [2]

Cuadro 3. Especificaciones técnicas FESTO 3401-2 [2].

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Requerimientos energéticos</b>	
Corriente	13 amperios
Servicio instalado	Salida de corriente monofásica estándar
<b>Compresor</b>	
Tipo	Sellado semi-herméticamente.
Potencia nominal	373 W (0.5 hp)
<b>Refrigerante</b>	R-134a.
<b>Evaporador</b>	Dos evaporadores de aire forzado, encerrados en cámaras separadas, con ventiladores de velocidad variable. Pueden operar de forma individual, en serie, o en paralelo.
<b>Condensador</b>	De aire forzado con ventilador de velocidad variable.
<b>Dispositivos de control</b>	Un interruptor de alta presión, un interruptor de baja presión, una válvula de expansión termostática, un tubo capilar, una válvula de expansión automática, válvulas solenoides, y controladores termostáticos.
<b>Instrumentación</b>	Medidores de temperatura, medidor de Watts, medidor de voltaje y amperaje, medidores de presión y lamparas indicadoras.
<b>Protección</b>	Interruptor de seguridad para el compresor e interruptores de seguridad para presión.
<b>Interruptores de fallos</b>	Dieciocho.
<b>Características físicas</b>	
Dimensiones	1900 x 2200 x 800 mm (74.8 x 86.6 x 31.5 in)
Peso neto	281 kg (619.5 lb)

4. DEGEM SYSTEMS DAR-3300. Este sistema de refrigeración didáctico consta con la característica de ser modular. Por lo tanto, cuenta con un sistema principal al cual se le pueden acoplar diferentes módulos para cubrir una amplia variedad de temas respecto a la refrigeración. Los módulos disponibles son: Módulo de refrigeración básica, módulo de refrigeración industrial, módulo de aire acondicionado básico y módulo de aire acondicionado industrial [9].

Figura 4. DAR-3300 [9].



- a. Módulo DAR-3301. Este es el módulo principal que contiene los elementos comunes necesarios para que los demás módulos operen. Las características de este módulo son las siguientes [9].
- Interruptores de funcionamiento.
  - Cuatro sensores de temperatura.
  - Dos sensores de presión y dos transductores.
  - Nueve electroválvulas.
  - Ocho diferentes luces LED para mostrar el estado de solución de problemas.
  - Interruptores de inserción de fallas y visualización de fallos.
  - Medidor de baja presión, 0 - 300 psi.
  - Manómetro de alta presión, 0 - 500 psi.
  - Pantalla LCD gráfica para la obtención de parámetros medidos.
  - DCOOL Software de control basado en Windows.

- Compresor hermético de 1/6 HP.
  - Refrigerante utilizado: R-134<sup>a</sup>.
  - Ventilador variable para condensador.
  - Válvula de expansión termostática.
  - Tubo capilar.
  - Filtro de gas refrigerante.
  - Acumulador de líquido.
  - Visores para observación de los estados del refrigerante.
  - Válvula de retención y válvulas de inversión de flujo.
  - Conexión rápida para módulos de formación DAR.
- b. Módulo DAR-3311. Este módulo pretende tratar todos los temas relacionados con los sistemas de refrigeración básicos (para uso no industrial). Los temas que pretende abarcar son los siguientes [9].
- Introducción al enfriamiento y refrigeración.
  - Principios de enfriamiento y ciclo básico de enfriamiento.
  - Funcionamiento del sistema principal.
  - Compresor de tipo hermético.
  - Componentes y circuitos del sistema de control.
  - Componentes y circuitos del sistema eléctrico.
  - Estructura y funcionamiento del sistema.
  - Ajuste de la válvula de expansión termostática.
  - Técnicas de evaporación.
  - Dispositivos de regulación.
  - Métodos de control y respuesta del sistema.
  - Cargas térmicas.
  - Métodos de mantenimiento.
  - Diagnóstico, reparación de fallas y simulación de fallos.

Figura 5. DAR-3311 [9].



- c. Módulo DAR-3312. Este módulo pretende tratar todos los temas relacionados con los sistemas de refrigeración industriales. Los temas que pretende abarcar son los siguientes [9].
- Introducción a la refrigeración industrial.
  - Principios de funcionamiento y componentes.
  - Principios de enfriamiento.
  - Dispositivos de regulación.
  - Respuesta del sistema.
  - Conexión en paralelo y en serie de evaporadores.
  - Componentes de descongelación.
  - Técnicas de llenado con gas refrigerante.
  - Técnicas de operación y estabilización del sistema.
  - Diagnóstico de fallas y reparación mediante un ordenador.
  - Simulación de fallas y procedimiento de diagnóstico.

Figura 6. DAR-3312 [9].



- d. Módulo DAR-3321. Este módulo pretende tratar todos los temas relacionados con los sistemas de aire acondicionado básicos (para uso no industrial). Los temas que pretende abarcar son los siguientes [9].
- Principios del aire acondicionado.
  - Funcionamiento y componentes del sistema.
  - Dispositivos de regulación.
  - Respuesta de sistemas de control eléctrico.
  - Ciclo térmico.
  - Uso de diagramas psicrométricos.
  - Funcionamiento del tubo capilar y de la válvula de expansión.
  - Funcionamiento del sistema con varios métodos de control.
  - Modos de funcionamiento de refrigeración y calefacción.
  - Variación de la carga térmica en el compresor y evaporador.

- Flujo de calor a través de los componentes del sistema.
- Técnicas de llenado con gas refrigerante.
- Diagnóstico de fallas y reparación mediante un ordenador.
- Simulación de fallas y procedimiento de diagnóstico.

Figura 7. DAR-3321 [9].



e. Módulo DAR-3322. Este módulo pretende tratar todos los temas relacionados con los sistemas de aire acondicionado industriales. Los temas que pretende abarcar son los siguientes [9].

- Principios del aire acondicionado.
- Funcionamiento y componentes del sistema.
- Dispositivos de regulación.
- Respuesta de sistemas de control eléctrico.
- Ciclo térmico.
- Uso de diagramas psicrométricos.
- Funcionamiento del tubo capilar y de la válvula de expansión.
- Funcionamiento del sistema con varios métodos de control.
- Modos de funcionamiento de refrigeración y calefacción.
- Variación de la carga térmica en el compresor y evaporador.
- Flujo de calor a través de los componentes del sistema.
- Técnicas de llenado con gas refrigerante.
- Diagnóstico de fallas y reparación mediante un ordenador.
- Simulación de fallas y procedimiento de diagnóstico.

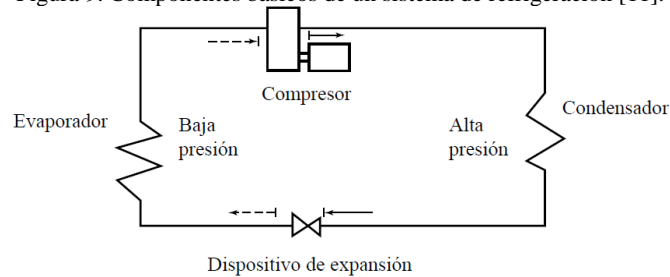
Figura 8. DAR-3300 [9].



## B. COMPONENTES BÁSICOS DE REFRIGERACIÓN

Los sistemas de refrigeración por compresión de un vapor son los más utilizados en la industria de refrigeración. Estos sistemas se componen de cuatro componentes fundamentales por los cuales circula el fluido refrigerante. Estos cuatro componentes básicos se presentan a continuación.

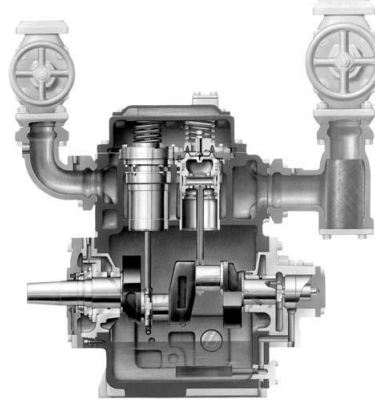
Figura 9. Componentes básicos de un sistema de refrigeración [11].



**1. Compresor.** Básicamente es el que succiona el fluido refrigerante en estado gaseoso, que se encuentra a una baja presión, y comprime el fluido. Esto conlleva a la elevación de la presión y la temperatura del fluido refrigerante hasta un valor donde aún se pueda realizar la condensación del fluido. Los tipos de compresores más utilizados son los alternativos [11].

Los compresores alternativos realizan la compresión del fluido por medio de un pistón. Este pistón, cuando realiza su carrera descendiente y la válvula de admisión se encuentra abierta, produce una disminución de presión en el cilindro, provocando la entrada del fluido refrigerante al cilindro del compresor. Luego el pistón comienza su carrera ascendente provocando que el fluido refrigerante se comprima, elevando su presión y temperatura. Por último, se abre la válvula de descarga y sale el fluido refrigerante ya comprimido del cilindro del compresor. Los compresores alternativos pueden ser clasificados en: herméticos, semi-herméticos y abiertos [11].

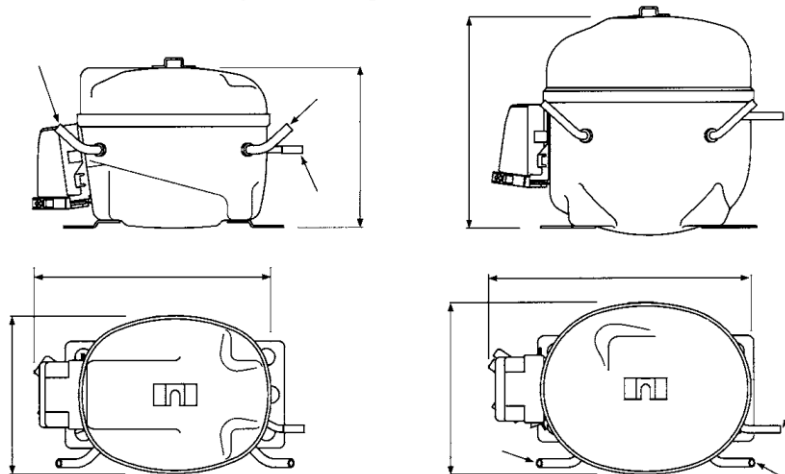
Figura 10. Compresor alternativo [11].



a. **Compresores herméticos.** Es un compresor donde el motor eléctrico va acoplado directamente al compresor, y ambos componentes se encuentran dentro de una misma carcasa de acero formando una sola unidad. Al ser un compresor hermético no se puede acceder al interior de ellos, por lo tanto, no se les puede realizar ningún tipo de mantenimiento. Estos compresores pueden ser de tipo rotativo de o de tornillo. Los compresores herméticos se dividen en compresores de baja, media y alta presión, según sus aplicaciones [11].

Los compresores herméticos cuentan con tres tubos soldados a su carcasa. Dos de estos tubos son del mismo diámetro y el tercero tiene un diámetro menor. El de menor diámetro es el que se debe conectar a la descarga del sistema y cualquiera de los otros dos se deben conectar a la aspiración del sistema. El tubo sobrante no se debe conectar al circuito, sino que se puede aprovechar para introducir carga refrigerante, para comprobar la presión de aspiración del sistema, para comprobar la temperatura de evaporación, o para introducir aceite al compresor [11].

Figura 11. Compresor hermético [11].



Los compresores herméticos tienen las siguientes características entorno a su funcionamiento [11]:

- La unión del motor y compresor está montada en la carcasa por medio de tres resortes que amortiguan las vibraciones producidas por su funcionamiento en conjunto con los cuatro amortiguadores de caucho que lleva el compresor en su base.
- El fluido refrigerante está en contacto directo con el motor eléctrico y con el compresor para refrigerarlos.
- La aspiración del fluido refrigerante se realiza por medio de las cámaras silenciadoras.
- En la descarga del compresor el fluido refrigerante pasa por dos cámaras silenciadoras. Cuando la presión de descarga es demasiado alta, la presión se transmite al compresor, el cual absorbe esta por medio de los tres resortes en los cuales está montado.
- En el plato de válvulas se encuentran las válvulas de aspiración y de descarga.

Figura 12. Vista superior de un compresor hermético [11].



Figura 13. Tapa de cámara silenciadora, culata y placa de válvulas [11].

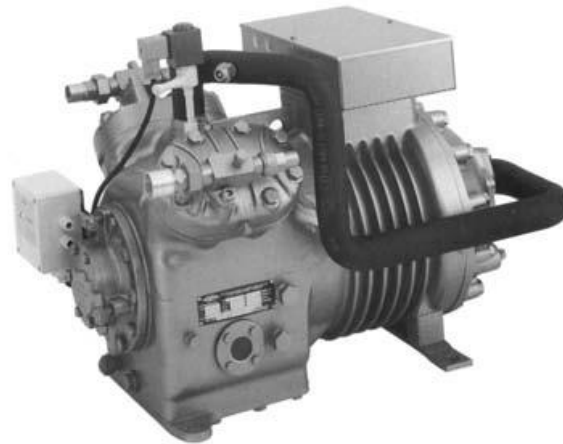


En conclusión, los compresores herméticos son silenciosos, ya que cuentan con resortes interiores, con cámaras silenciadoras que amortiguan el golpeteo de las válvulas, y ya que carecen de elementos de transmisión exteriores. Además, están refrigerados por el fluido que aspiran, por lo cual la falta del fluido

refrigerante afecta a la refrigeración del compresor y se debe evitar en su totalidad que exista humedad en el circuito, ya que, si entra líquido al compresor, este estaría en contacto directo con su parte eléctrica [11].

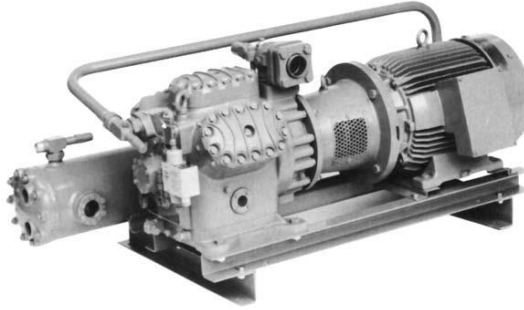
b. Compresores semi-herméticos. Estos compresores tienen las mismas ventajas y desventajas que los compresores herméticos, refiriéndose respecto a su funcionamiento. La diferencia se encuentra en que, sí es posible acceder a los compresores semi-herméticos para realizar operaciones de mantenimiento tales como cambiar pistones, cambiar empaques, etc. La aspiración del fluido refrigerante se puede realizar por la parte del motor eléctrico o por la culata del compresor. Estos compresores también pueden ser enfriados externamente por agua o por aire. Al igual que en los compresores herméticos, los semi-herméticos se dividen en compresores de baja, media y alta presión [11].

Figura 14. Compresor semi-hermético [11].



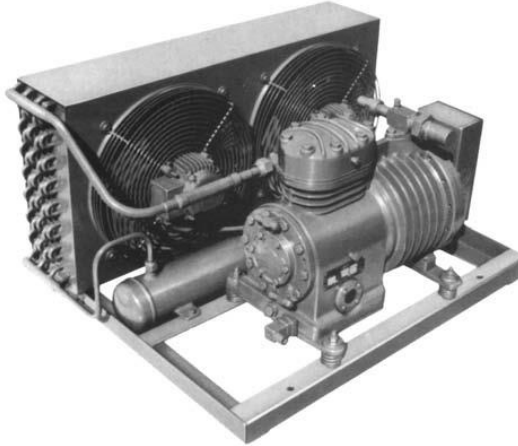
c. Compresores abiertos. Son compresores donde el compresor y el motor eléctrico están separados. Por ende, el fluido refrigerante ya no se encuentra en contacto con la parte eléctrica, como ocurre en los compresores herméticos y semi-herméticos. Al encontrarse separados el motor eléctrico y el compresor se solucionan posibles averías. Además, al encontrarse separados, es necesario que un extremo del cigüeñal salga del compresor, el cual sirve para el acoplamiento con el motor eléctrico. El acoplamiento se puede realizar de dos maneras diferentes, las cuales son: Por correas y por acoplamiento directo [11].

Figura 15. Compresor abierto con acoplamiento directo [11].



En la industria de refrigeración existen componentes que son llamados unidades condensadoras. Estas unidades condensadoras son la unión mínima entre un compresor, un condensador y un recipiente de líquido, los cuales están montados en una misma bancada. Hay unidades condensadoras que también pueden llevar elementos como: Acumulador de aspiración, filtro de humedad, visor de líquido, presostatos y separador de aceite [11].

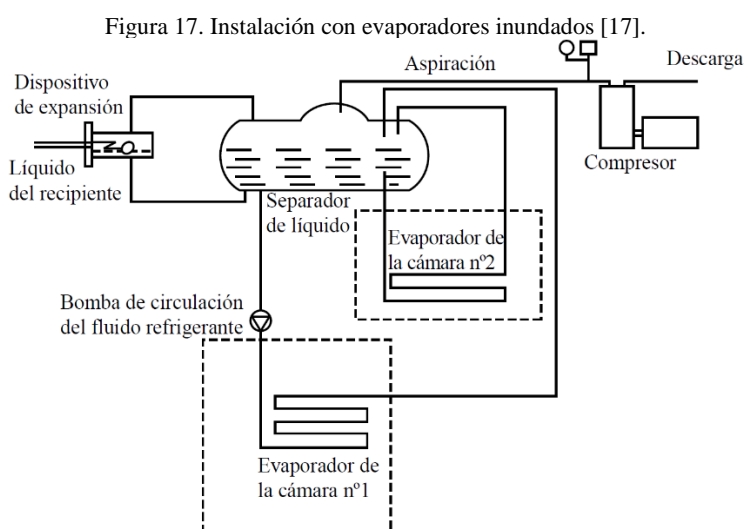
Figura 16. Unidad condensadora [11].



**2. Evaporador.** Es el elemento en el sistema de refrigeración donde se produce la función principal de estos sistemas, refrigerar. El evaporador es un intercambiador de calor, el cual absorbe el calor del ambiente y lo transfiere a un fluido refrigerante que pasa de estado líquido a estado gaseoso, en su interior. Es por su función, que el evaporador, debe estar conformado por un material que sea un buen conductor de calor, para que se realice el intercambio entre el medio ambiente y el fluido refrigerante de la mejor manera posible. Los evaporadores tienen su determinada clasificación, la cual se presenta a continuación [17].

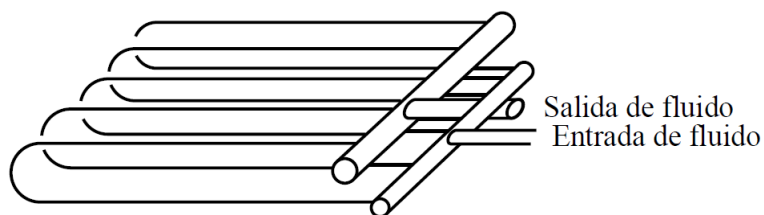
a. Según el estado del fluido refrigerante en su interior. Estos evaporadores pueden ser de tipo inundados, semi-inundados, o secos [17].

1) **Inundados.** En este tipo de evaporadores el fluido refrigerante se encuentra en estado líquido desde la entrada del evaporador, hasta su salida. El rendimiento de estos evaporadores es alto, ya que si a la salida del evaporador, el refrigerante se encuentra en estado líquido, significa que la temperatura entre el medio refrigerado y el fluido refrigerante es constante. Ya que el compresor es de vapor, siempre se encuentra a la salida de este tipo de evaporadores un separador de líquido, para asegurarse que al compresor solo llegue refrigerante en estado gaseoso [17].



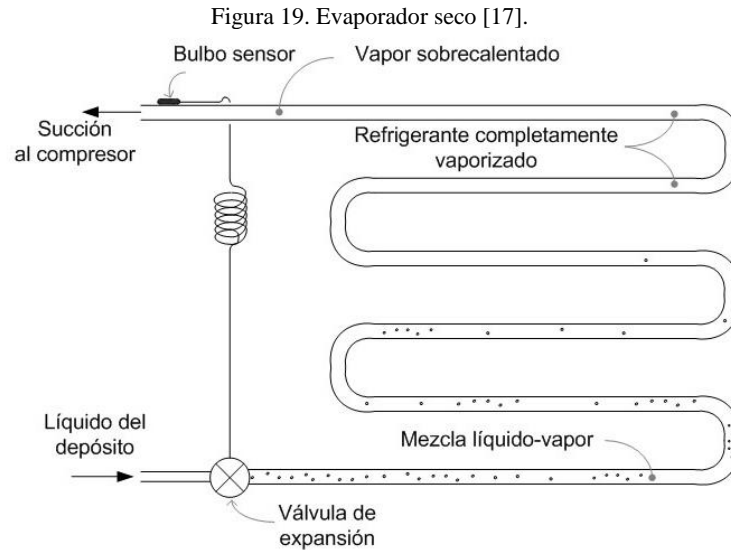
2) **Semi-inundados.** Este tipo de evaporadores están conformados por dos colectores, una de mayor diámetro donde sale el fluido refrigerante, y uno de menor diámetro donde entra el fluido. Los dos colectores se encuentran unidos por tubos en paralelo por donde circula el refrigerante. Son semi-inundados, ya que en los tubos inferiores permanece el refrigerante en estado líquido y en los superiores fluye solo refrigerante en estado gaseoso. Por lo general, estos evaporadores cuentan con aletas de transferencia [17].

Figura 18. Evaporador semi-inundado [17].



3) **Secos.** Estos evaporadores son caracterizados porque en su salida el fluido refrigerante se encuentra en estado gaseoso. Por lo tanto, parte del calor extraído por el fluido causa el sobrecalentamiento

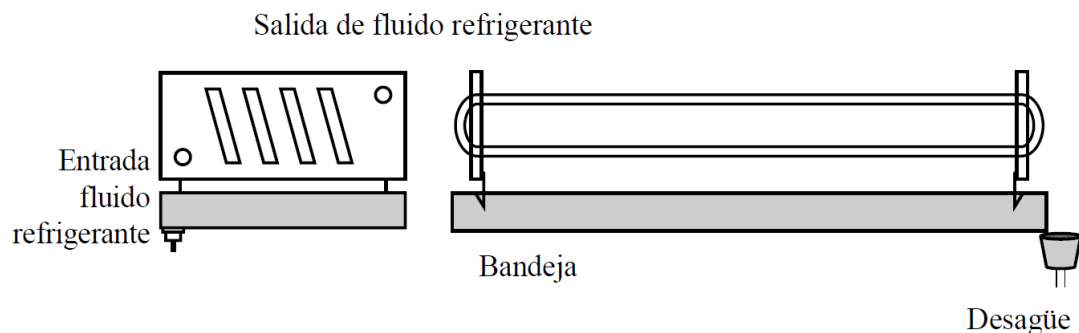
de este. Normalmente este tipo de evaporadores trabajan en conjunto con una válvula de expansión termostática, ya que estas válvulas de expansión trabajan según el sobrecalentamiento producido en el fluido refrigerante a la salida del evaporador [17].



b. Según su construcción. Estos evaporadores pueden ser de tubo liso, o de tubo con aletas.

1) De tubo liso. Son evaporadores formados por un tubo de cobre recocado que se puede presentar en distintas formas, normalmente se le realiza forma de espiral. Son el tipo de evaporador más empleado desde el principio de la refrigeración [17].

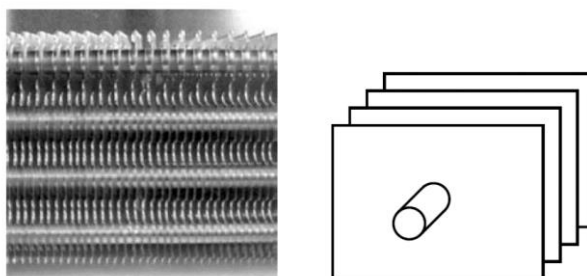
Figura 20. Evaporador de tubo liso [17].



2) De tubo con aletas. Estos evaporadores cuentan con aletas fijadas a los tubos de cobre. Esto aumenta la transferencia de calor que se puede generar en el evaporador, ya que la superficie de transmisión es mayor. Las aletas pueden ser de distintas formas, las más utilizadas son las rectangulares y circulares. La

circulación de aire a través de estos evaporadores puede ser: Natural, en la cual el aire frío que procede del evaporador, al estar en contacto con el producto, se calienta y asciende hacia el evaporador, el cual enfría nuevamente este aire que regresa al producto y lo enfría. Forzada, cuando la salida y entrada de aire se produce mediante el funcionamiento de ventiladores, lo que permite una separación menor entre aletas, y aumentando la eficiencia del evaporador [17].

Figura 21. Evaporador con aletas [17].



En la industria de la refrigeración, existen evaporadores que son llamados unidades manejadoras o climatizadores. Estas unidades manejadoras tienen la función de emitir un caudal de aire que se difunde por una canalización y otorga al espacio climatizado la temperatura deseada por el usuario. Las unidades manejadoras pueden estar formadas por: una entrada de aire exterior, un filtro, un ventilador, un evaporador, un separador de condensado, un humidificador y por resistencias calefactoras [15].

Figura 22. Unidad manejadora [15].

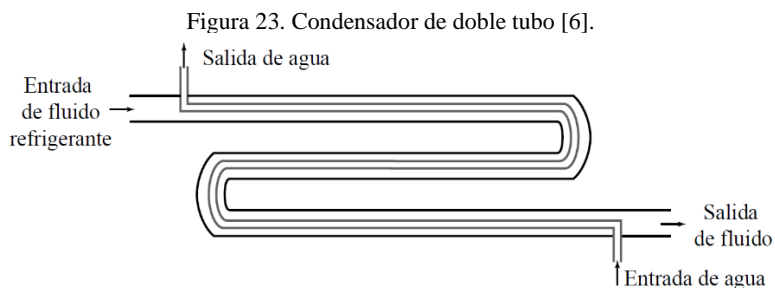


**3. Condensador.** Es el componente que se encarga de cambiar el refrigerante de un estado gaseoso a un estado líquido. El fluido refrigerante entra al condensador en un estado gaseoso (normalmente de vapor sobrecalentado) y sale del condensador en un estado líquido a la temperatura de condensación o a una temperatura menor (en un estado subenfriado) [6].

Para que se realice este intercambio de calor entre el condensador y el refrigerante, la superficie del condensador debe ser de un material conductor de calor. El condensador tiene como propósito fundamental disipa el calor que se produce en el evaporador y en el trabajo realizado por el compresor. Esto nos puede dar a la salida del condensador un fluido con una temperatura de condensación, o un fluido que se encuentra a una temperatura menor que la de condensación (subenfriado). Si se llega a producir subenfriamiento en el condensador, este aumenta el rendimiento del sistema de refrigeración. Los condensadores pueden ser de diferentes tipos, los cuales se presentan a continuación [6].

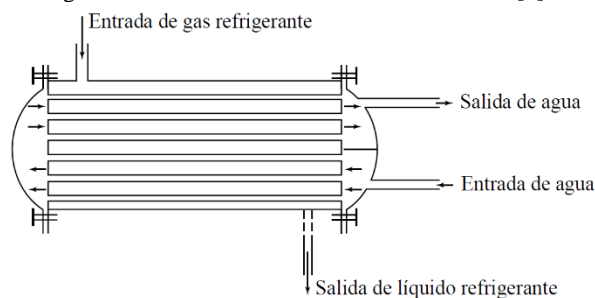
a. **Condensadores por agua.** En estos condensadores se emplea agua como el agente condensante. Pueden ser de diferentes tipos, los cuales se presentan a continuación.

1) **De doble tubo.** Se les conoce también como condensadores a contracorriente. Este tipo de condensadores están formados por dos tubos de diferentes diámetros y concéntricos. Su funcionamiento consiste en el flujo del fluido refrigerante por medio de un tubo en dirección descendente, mientras circula agua hacia el compresor en dirección ascendente [6].



2) **Multi-tubulares.** Estos condensadores están conformados por una carcasa metálica, la cual cuenta en su interior con una serie de tubos, los cuales pueden ser de diferentes materiales, según el refrigerante utilizado. El agua entra por la parte inferior del condensador pasando por todos los tubos, mientras que el fluido refrigerante entra por la parte superior y llena la carcasa del condensador. Por lo general, este tipo de condensadores dispone de una válvula de seguridad y una válvula de purga para los gases incondensables [6].

Figura 24. Condensador multi-tubular horizontal [6].



b. Condensadores por aire. En estos condensadores se emplea aire como el agente condensante. Pueden ser de diferentes tipos, los cuales se presentan a continuación.

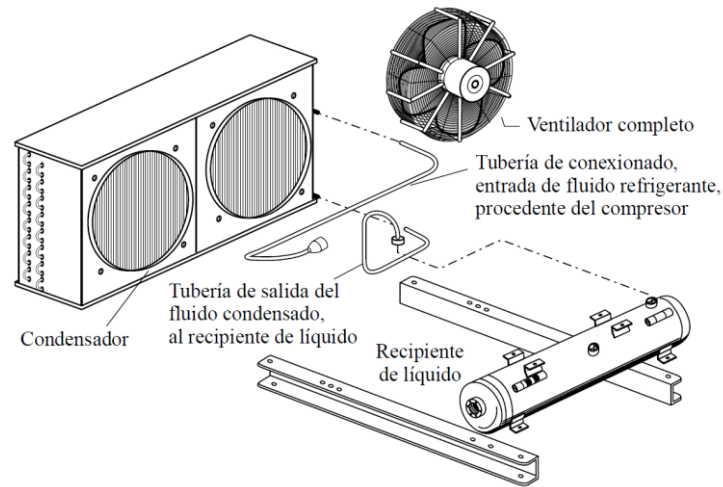
1) De tubo liso. Se utilizan en instalaciones pequeñas, normalmente domésticas. El material utilizado en la construcción del condensador es el cobre y funcionan por circulación natural de aire. Por este motivo es que debe existir un espacio determinado entre el condensador y cualquier otra superficie, así se permite la circulación de aire [6].

Figura 25. Condensador de tubo liso [6].



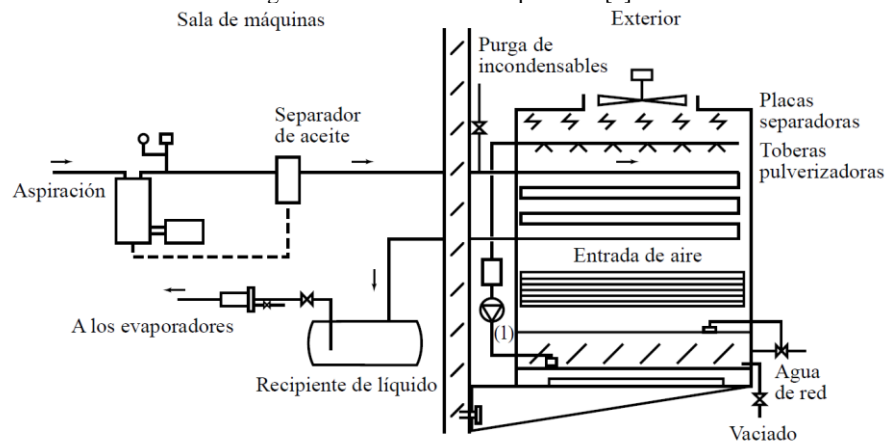
2) De tubo con aletas. Este tipo de condensadores están formados por un serpentín de cobre y aletas de aluminio separadas entre sí. La transmisión de calor se produce a través de las aletas y del tubo, logrando una superficie de transmisión mayor que en los condensadores de tubo liso. Normalmente este tipo de condensadores cuentan con ventiladores los cuales sirven para realizar una circulación forzada de aire, aumentando la capacidad del condensador. Este tipo de condensadores es el que se emplea en instalaciones industriales, ya que con el espacio que ocupan tienen más capacidad de condensación que otro tipo de condensador [6].

Figura 26. Condensador de tubo con aletas, de aire forzado [6].



c. Condensadores mixtos. Este tipo de condensadores emplean tanto el agua, como el aire para realizar la condensación del refrigerante. Los más utilizados son los de tipo evaporativo, los cuales funcionan mediante la combinación de aire y agua, a contracorriente. Su funcionamiento se basa en la circulación de aire a través del serpentín, mientras al mismo tiempo existen diferentes toberas, que pulverizan agua sobre el serpentín, logrando una reducción considerable de calor en el fluido refrigerante [6].

Figura 27. Condensador evaporativo [6].

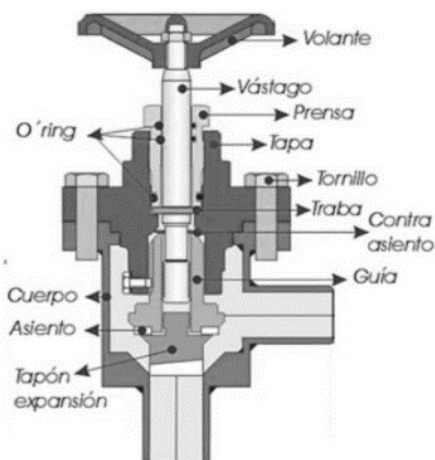


4. Válvula de expansión. Las válvulas de expansión son componentes donde el fluido refrigerante entra en estado líquido, provocándole una caída de presión y temperatura para llevar estos valores a los necesarios en el evaporador. Además, estos dispositivos, regulan la cantidad de fluido refrigerante que llega al evaporador, y son los encargados de pasar el fluido refrigerante de una alta presión a una baja. Existen

diferentes tipos de válvulas de expansión, los cuales son: Válvulas manuales, tubos capilares, válvulas de expansión termostáticas, válvulas reguladoras de nivel, y válvulas de expansión electrónicas [18].

a. Válvulas manuales. Son válvulas de aguja que se emplean en sistemas donde la carga es constante. Tienen muy pocas aplicaciones. Normalmente se utilizan montadas en “bypass” con otro tipo de válvula de expansión, sirviendo como un complemento de regulación, o para regular el fluido a través de ella si en un momento dado se avería la válvula de expansión principal [18].

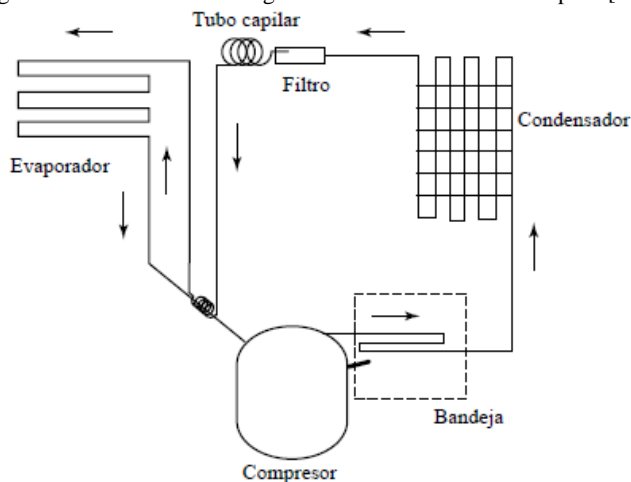
Figura 28. Válvula manual de expansión [18].



b. Tubos capilares. Son utilizados en sistemas donde la carga varía de forma mínima, principalmente en aplicaciones domésticas de refrigeración y acondicionamiento de aire. Estas válvulas son tubos de cobre de un diámetro muy pequeño (aproximadamente de 2.4 mm), lo cual genera la expansión del fluido [18].

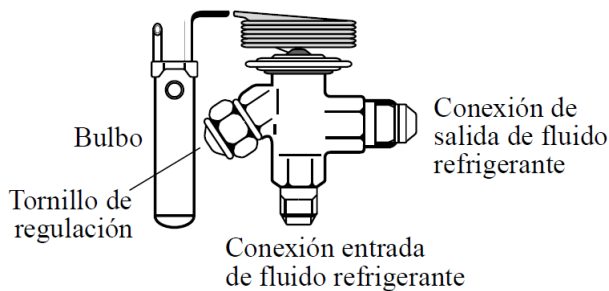
El tubo capilar une al condensador con el evaporador. El fluido refrigerante a la hora que circula por el interior del tubo sufre una caída de temperatura y por lo tanto de presión, lo que crea la expansión del fluido. Para evitar que una cantidad de fluido se evapore adentro del tubo, este debe estar unos centímetros adentro del tubo de aspiración, que sale del evaporador hacia el compresor [18].

Figura 29. Instalación de refrigerador domestico con tubo capilar [18].



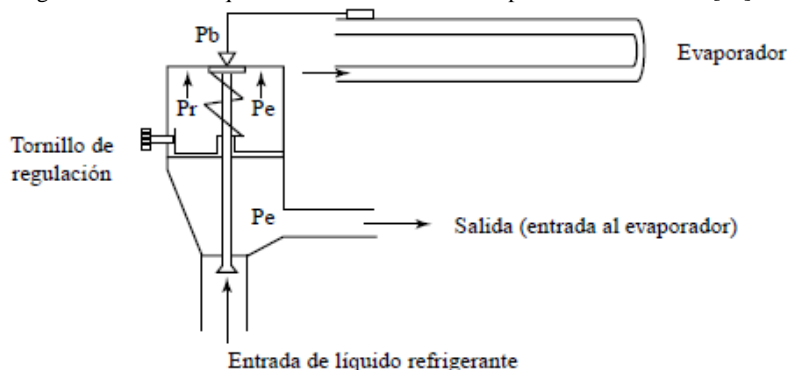
c. Válvulas de expansión termostáticas. Son válvulas que ajustan el flujo del refrigerante según el recalentamiento del fluido a la salida del evaporador. Al inicio de la válvula el fluido se debe encontrar en estado líquido a la temperatura de condensación o en subenfriamiento, así al salir de la válvula el fluido refrigerante se encontrará en un estado de mezcla de líquido y vapor, pero debe ser mayor el porcentaje de líquido para que se tenga un buen rendimiento [18].

Figura 30. Válvula de expansión termostática [18].



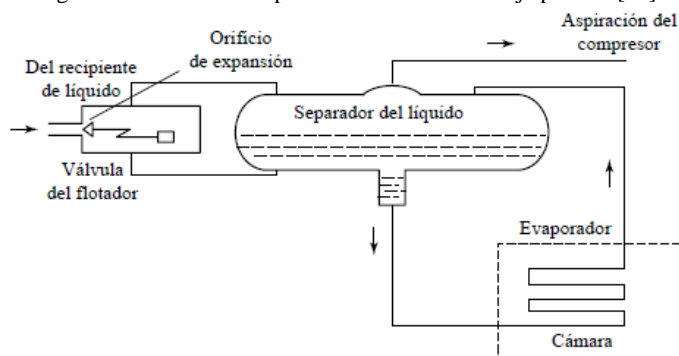
Este tipo de válvulas debe instalarse lo más cerca posible del evaporador, para asegurar su mayor rendimiento. El funcionamiento de estas válvulas se rige por tres presiones fundamentales que actúan sobre su membrana interior. La primera es la presión del bulbo, la cual actúa sobre la parte superior y tiende a abrir la válvula. La segunda es la presión de evaporación, la cual actúa sobre la parte inferior de la membrana y tiende a cerrarla. Y la tercera es la presión del resorte, la cual actúa sobre la parte inferior de la membrana y tiende a cerrarla. Es debido a esto que, si la temperatura del bulbo es alta, la válvula de expansión se abrirá igualando las presiones; y si la temperatura del bulbo es baja, la válvula de expansión se cerrará [18].

Figura 31. Presiones que actúan en la válvula de expansión termostática [18].



d. Válvulas de expansión de flotador. Son válvulas que se encargan de regular el nivel de fluido refrigerante en estado líquido que se encuentra en el evaporador. Conforme al nivel de líquido que existe en el evaporador, estas válvulas abren o cierran el orificio de entrada a la válvula que produce la expansión del fluido. Este tipo de válvulas son utilizadas en evaporadores inundados, y en los semi-inundados. Este tipo de válvulas se clasifican en válvulas de alta o de baja presión, esta clasificación hace referencia a su posición de instalación, es decir en el lado de baja presión o en el lado de alta presión [18].

Figura 32. Válvula de expansión de flotador de baja presión [18].

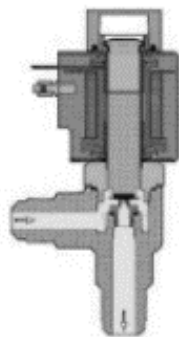


e. Válvulas de expansión electrónicas. Son válvulas de expansión que utilizan el mismo principio de función que las válvulas termostáticas, a diferencia de que no es la diferencia de presiones la que las abre o las cierra, sino que cuentan con un motor que mueve el eje de la válvula. Esta diferencia le da la ventaja de ser válvulas que cambian de forma muy rápida sus condiciones de trabajo. El motor utilizado puede ser un solenoide, un motor eléctrico, un motor de pasos, un motor electromagnético, etc. Además, la lectura de la temperatura y la presión ya no se realiza con un bulbo, sino que se utilizan sensores, transmisores y transductores de presión y sondas de temperatura. También se incorporan analizadores y controladores

electrónicos, que por medio de software interpretan las señales recibidas de temperatura y presión y mandan órdenes de cierre o apertura a las válvulas electrónicas [18].

Existen dos diferentes tipos de válvulas de expansión electrónicas. Las válvulas solenoides que realizan aperturas por pulsos de tiempo y las válvulas motorizadas con motores de pasos o magnéticos que realizan una apertura modulada. En las válvulas solenoides, la válvula abre y cierra por pulsos definidos, regularmente cada seis segundos, de forma que durante unos segundos está totalmente abierta y durante el resto del tiempo está completamente cerrada. En las válvulas motorizadas, el movimiento del eje es continuo, normalmente cuentan con un motor de etapas de varios miles de pasos, el cual puede situar al eje de la válvula en cualquier posición [18].

Figura 33. Válvula de expansión electrónica motorizada [18].



## C. DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD PARA EL USUARIO

En un sistema de refrigeración existen dos zonas diferentes, una de baja presión y una de alta presión. Puede ocurrir que, durante el funcionamiento normal del sistema, esas zonas alcancen valores de presión que pueden llegar a afectar el rendimiento del sistema, o incluso, puede llegar a afectar la seguridad de las personas. Debido a esto, en un sistema de refrigeración por compresión de un vapor cuenta con presostatos de alta y baja presión [3].

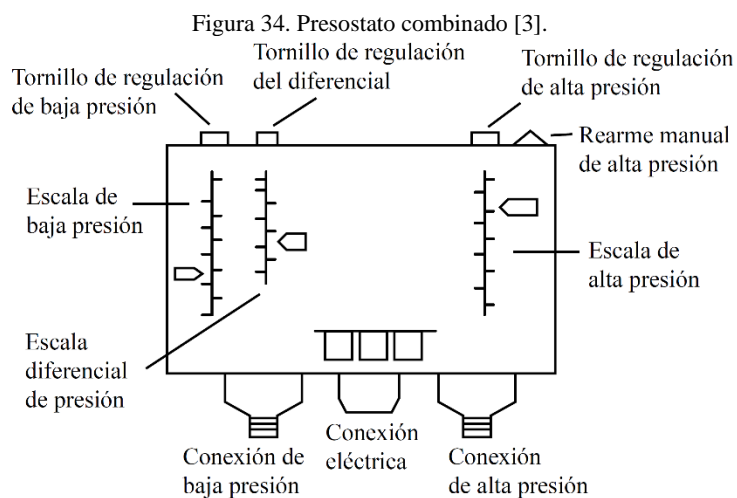
Los presostatos son componentes que se activan por presión con la función de abrir o cerrar un circuito mediante uno o varios contactos normalmente abiertos o cerrados. En pocas palabras, son interruptores eléctricos que funcionan por presión. A la hora que la presión sale de un parámetro establecido, el presostato para al compresor. Los presostatos pueden ser de tres diferentes tipos, los cuales se presentan a continuación [3].

**1. Presostato de alta presión.** Es el presostato que se debe colocar en la zona de alta presión del sistema, normalmente se instala a la descarga del compresor. Su función es impedir que la zona de alta presión

alcance valores que puedan llegar a afectar el rendimiento del sistema de refrigeración o la seguridad de las personas. Este se regula a una determinada presión, y cuando el sistema alcanza este valor, el presostato para al compresor [3].

**2. Presostato de baja presión.** Es el presostato que se debe colocar en la zona de baja presión del sistema, normalmente se instala en la aspiración del compresor. Su función es evitar que la zona de baja presión pueda caer por debajo de la presión atmosférica y evitar también que la presión este por debajo de la normal para el correcto funcionamiento del sistema o que la presión pueda provocar un cambio en la seguridad de las personas. Cuando la presión desciende a un valor menor que el permitido por el presostato de baja presión, este para al compresor [3].

**3. Presostato combinado.** Es el presostato que regula tanto la zona de baja presión, como la zona de alta presión. En pocas palabras, es el presostato que realiza tanto la función del presostato de alta presión, como la función del presostato de baja presión. Además de controlar las zonas de baja presión y alta presión, este presostato controla el diferencial de presiones que se provoca entre la presión de arranque y la presión de paro [3].



## D.ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS Y DE PROTECCIÓN PARA LOS COMPONENTES BÁSICOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Un sistema de refrigeración podría trabajar solo con los elementos antes mencionados, pero existen otros elementos complementarios para que el ciclo de trabajo se puede efectuar con el mayor rendimiento posible

y para que se puedan proteger todos los elementos básicos del sistema. Estos elementos complementarios son los presentados a continuación.

1. **Recipiente de líquido.** También conocido como acumulador de líquido. Puede ser de tipo horizontal o vertical. Este elemento se instala a la salida del condensador. Su función es almacenar el líquido que sale del condensador, para mantener una reserva de líquido para restituirlo según la demanda. Su capacidad de almacenamiento varía según las características de la instalación. Al ser un recipiente que se encuentra a alta presión, este cuenta con una válvula de seguridad para evitar que se alcancen presiones mayores a las deseadas. Normalmente los recipientes suelen tener montados un visor o nivel de líquido para conocer en todo momento su contenido [20].

Figura 35. Recipiente de líquido horizontal [20].

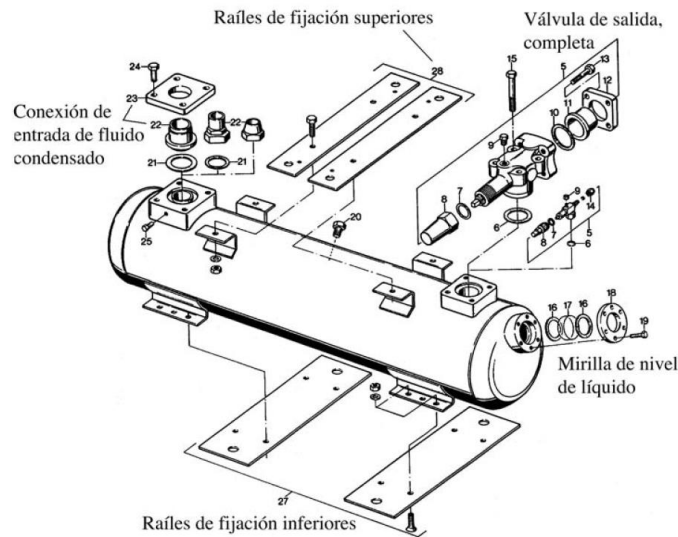
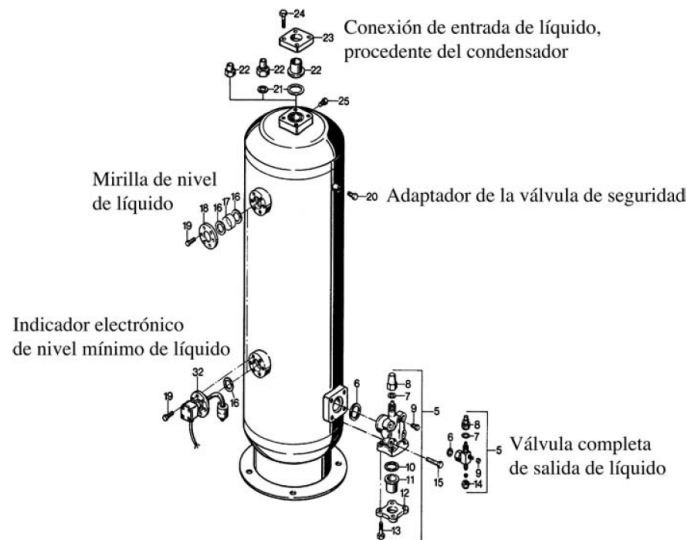
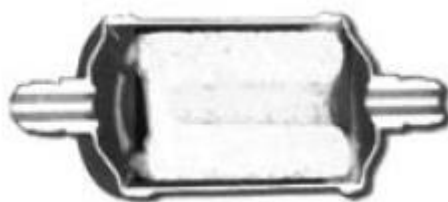


Figura 36. Recipiente de líquido vertical [20].



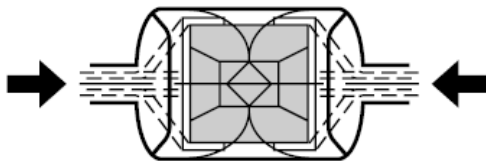
**2. Filtro de humedad.** Un gran problema en un sistema de refrigeración es la entrada de aire al sistema, ya que el aire que nos rodea es aire húmedo, por lo cual, al entrar el aire al sistema, entra junto a su humedad. La humedad puede originar problemas serios, como bloquear los dispositivos de expansión, producir problemas en los compresores herméticos o semi-herméticos, producir oxidación de los componentes, etc. La entrada de humedad a un sistema es un problema normal, ya que puede producirse de muchas maneras, como en la realización de una reparación, en la adición de aceite, durante la operación de carga del fluido refrigerante o se puede producir si el compresor aspira del aire ambiente. Es debido a esto que para evitar la presencia de humedad en los sistemas de refrigeración se deben de instalar los filtros de humedad, los cuales también son llamados deshidratadores [20].

Figura 37. Filtro de humedad [20].



Los filtros de humedad contienen un agente desecante que puede ser: Silicagel, tamices moleculares, alúmina activa, u óxido de aluminio. También existen los filtros de humedad denominados de núcleo sólido, los cuales están formados por una mezcla de silicagel, tamices moleculares y óxido de aluminio. Estos filtros además de tener una función deshidratadora retienen partículas sólidas (impurezas existentes en el sistema). El montaje de estos filtros es muy importante, deben de ser instalados en la dirección que indica el fabricante y si se encuentran en sentido vertical descendentes, estos aumentan su rendimiento. También existen filtros de humedad reversibles para instalaciones que funcionan como refrigerantes y como bombas de calor [20].

Figura 38. Filtro de humedad reversible [20].



**3. Visor.** Es técnicamente una “ventana” para ver el paso del fluido refrigerante por la tubería. A través de ella sólo se debería de ver fluido en estado líquido. Si se logran observar burbujas, esto nos podría indicar que hace falta fluido refrigerante lo cual se puede originar por la existencia de poca carga refrigerante, o porque se encuentren fugas en el sistema. El visor también nos indica si hay humedad en el circuito, ya que

contiene una sal química higroscópica que reacciona con la humedad y cambie de color. Normalmente se colocan en serie o en paralelo después del filtro de humedad, ya que, si el visor nos indica que existe humedad en el sistema, esto significa que el filtro de humedad debe ser remplazado por uno nuevo, ya que muy posiblemente se encuentra saturado [20].

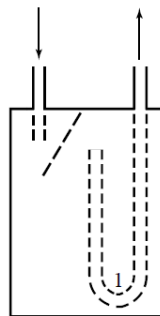
Figura 39. Visor [20].



4. **Acumulador de aspiración.** Es un componente que debe ser instalado en el lado de baja presión, antes de llegar al compresor. Su función es evitar que llegue fluido en estado líquido al compresor. Su función es muy importante, ya que el compresor solo puede trabajar con un fluido en estado gaseoso, al existir la presencia de un fluido en estado líquido, cuando lo intente comprimir, el compresor tendrá una falla crítica, dañando la mayoría de componentes internos, por lo cual será necesario cambiarlo completamente [20].

Este es un recipiente metálico que generalmente lleva un tubo de entrada y otro de salida. El tubo de entrada se conecta a la tubería que viene del evaporador y el de salida a la que va al compresor. Además, este contiene en su interior un orificio calibrado que sirve para el retorno del aceite. La misma depresión originada por la aspiración del compresor facilita la evaporación del fluido [20].

Figura 40. Acumulador de aspiración [20].



## E. REFRIGERANTES

Un fluido refrigerante es cualquiera que pueda cambiar de estado líquido a gaseoso, ya que el enfriamiento se obtiene por dicho cambio de fase. En los sistemas de compresión de vapor, existen refrigerantes de tipo

halo-carburo, de amoníaco y de hidrocarburos. Todos los refrigerantes están designados por un sistema uniforme de codificación numérica, como R134, R22, R407C, R410, etc. Los refrigerantes son sustancias químicas, como el caso del R22 el cual está formado por un compuesto químico llamado monoclóridifluorometano, siendo un refrigerante del grupo de los halo-carburos [4].

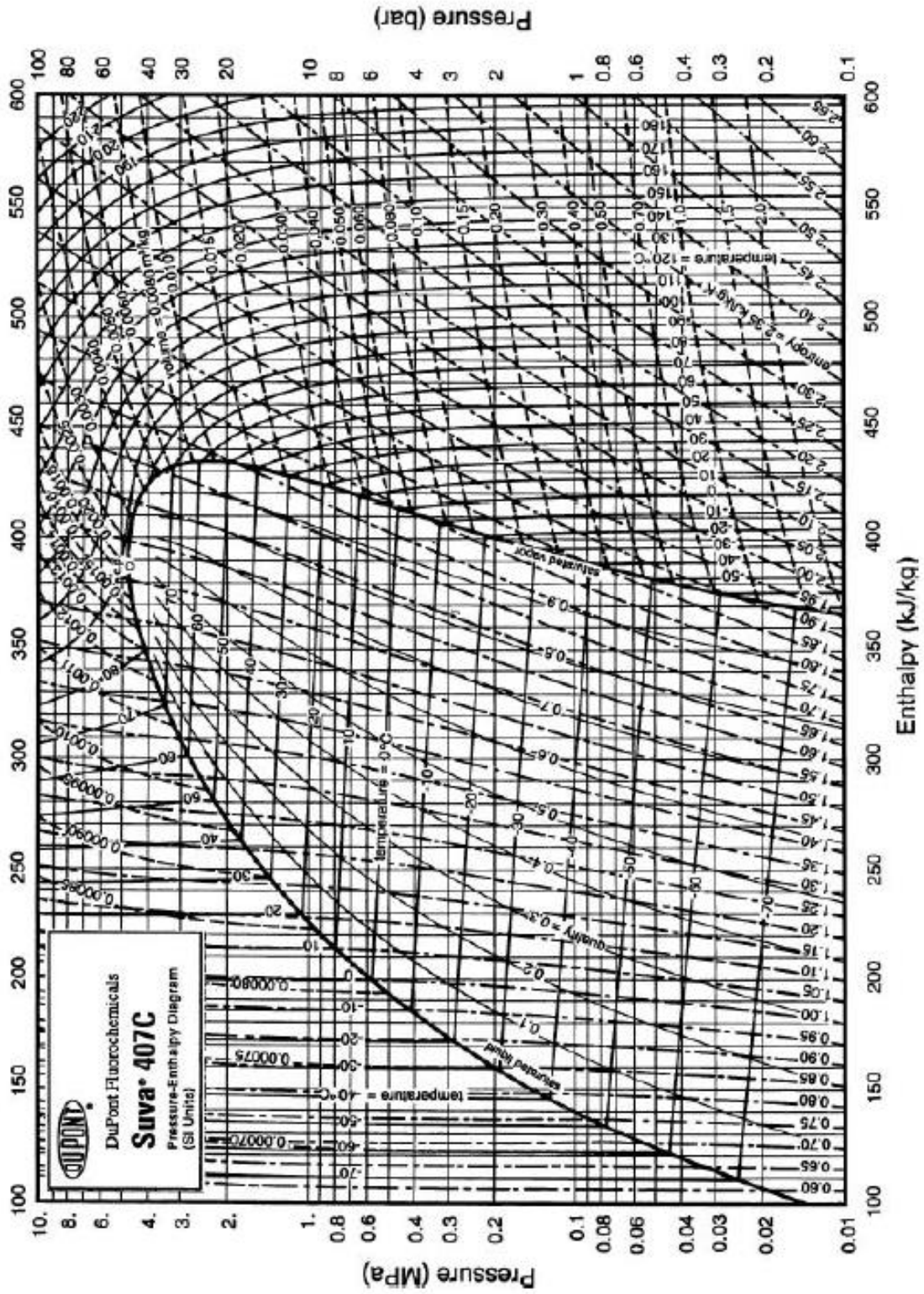
Cada refrigerante tiene un margen de aplicaciones específicas, las aplicaciones en las cuales se utilizan ciertos refrigerantes se muestran en cuadro que se encuentra a continuación. Además, en dicha tabla se muestra el reemplazo que contiene una composición química que ya no daña a la capa de ozono en los refrigerantes donde ya existe [4].

Cuadro 4. Refrigerantes más utilizados y sus aplicaciones [4].

Refrigerante	Aplicaciones	Reemplazo
R11	Sistemas de aire acondicionado centrífugos.	R123
R12	Refrigeración industrial y doméstica.	R401A, R409A, R401B
R22	Aire acondicionado, refrigeración comercial e industrial.	R410A, R407C
R502	Refrigeración industrial y comercial.	R404A, R507, R408A, R402B
R134a	Aire acondicionado y refrigeración doméstica.	

Cada refrigerante se comporta de diferente forma. Para saber las características de un tipo específico de refrigerante, existen los diagramas de “Mollier”. En estos diagramas a la hora de conocer la temperatura y la presión a la cual se encuentra cierto refrigerante, se pueden conocer sus demás propiedades en dicho estado [4].

Figura 41. Diagrama de Mollier para refrigerante R407C [4].



## F. TUBERÍA PARA SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

La tubería es el encargado de conducir el refrigerante entre los sistemas básicos de refrigeración. Este es el encargado de proveer un flujo adecuado de refrigerante, evitar la entrada de humedad al sistema y evitar una excesiva caída de presión al flujo refrigerante. El tipo de tubería de cobre utilizado para refrigerantes halo-carburos, como lo es el R22, R407C, R410A, es la tubería de cobre de tipo “L” [16].

El tamaño de la tubería es la que define la restricción que se le provocara al flujo del refrigerante. Es debido a esto por lo que se debe seleccionar el diámetro correcto para un sistema de refrigeración definido, tomando en cuenta que mientras más grande sea el diámetro de la tubería de cobre empleado, menor será las pérdidas provocadas al sistema, pero el costo de la instalación será mayor [16].

En el siguiente cuadro, se presenta los diferentes diámetros de tubería de cobre de tipo “L” que existen en el mercado, con la medida de sus diámetros internos y externos, tanto para tubería rígida, como para tubería flexible.

Cuadro 5. Medidas nominales de tubería de cobre tipo “L” [16].

Tubería de cobre tipo “L” rígida			
Diámetro exterior	Diámetro interior (mm)	Pared (mm)	Peso (kg/m)
¼ in (6.35 mm)	5.08	0.63	0.101
3/8 in (9.525 mm)	8.00	0.762	0.188
½ in (12.7 mm)	10.92	0.893	0.296
5/8 in (15.875 mm)	13.84	1.017	0.424
¾ in (19.05 mm)	16.92	1.065	0.538
7/8 in (22.225 mm)	19.94	1.142	0.676
1 1/8 in (28.575 mm)	26.03	1.272	0.975
1 3/8 in (34.925 mm)	32.14	1.397	1.316
1 5/8 in (41.275 mm)	38.23	1.522	1.699
2 1/8 in (53.975 mm)	50.42	1.777	2.605
2 5/8 in (66.675 mm)	62.61	2.032	3.689
3 1/8 in (79.375 mm)	74.8	2.287	4.952
3 5/8 in (92.075 mm)	86.99	2.542	6.392
4 1/8 in (104.775 mm)	99.19	2.792	7.997
Tubería de cobre tipo “L” flexible			
¼ (6.35 mm)	4.75	0.8	0.124
5/16 in (7.94 mm)	6.35	0.8	0.16

Continuación Cuadro 5  
Tubería de cobre tipo "L" flexible

Diámetro exterior	Diámetro interior (mm)	Pared (mm)	Peso (kg/m)
3/8 in (9.53 mm)	7.73	0.9	0.214
1/2 in (12.7 mm)	10.9	0.9	0.298
5/8 in (15.87 mm)	14.08	0.9	0.378
3/4 in (19.05 mm)	17.05	1.0	0.505

## V. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

### A. DISEÑO DE COMPONENTES

Para poder llevar a cabo la selección y diseño de componentes básicos para el sistema de refrigeración didáctico de primero se debe especificar el área donde se encontrará operando dicho sistema. Este sistema de refrigeración se encontrará operando en las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala, en el Maker 502.

Conociendo el lugar donde se utilizará dicho sistema, se procedió a establecer las condiciones ambientales teóricas a las cuales se encuentra dicho lugar. Estas condiciones se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Condiciones ambientales teóricas en el Maker 502.

Altitud sobre el nivel del mar	Temperatura de bulbo seco	Humedad relativa
5,000 ft	86 °F	60%

Los 5,000 ft de altitud sobre el nivel del mar se determinaron por la ubicación de la universidad, la cual se encuentra en la Ciudad de Guatemala que se encuentra a 1,500 m (aproximadamente 5,000 ft) sobre el nivel del mar. La temperatura de bulbo seco ambiente del lugar se planteó de 86 °F (30 °C) por encontrarse en un lugar con techo de lámina, el cual cuenta con muchas otras máquinas que pueden estar en funcionamiento. Y por último se planteó una humedad relativa del 60% por ser un taller que se encuentra rodeado de mucha vegetación.

Además, debemos seleccionar un tipo de refrigerante para utilizar en el sistema. Ya que se desea realizar una instalación de tipo de acondicionamiento de aire, se seleccionó el refrigerante más utilizado para dicha función, el cual es el R407C. Este refrigerante reemplaza al R22 ya que tienen propiedades muy similares, con la diferencia de que el R407C ya no tiene componentes que dañen a la capa de ozono.

Normalmente para diseñar un sistema de refrigeración se calcula la carga térmica que se desea extraer del espacio refrigerado. Luego se selecciona un evaporador que pueda absorber dicha carga. Después se selecciona una unidad condensadora que pueda disipar del sistema la carga térmica absorbida por el evaporador. Y por último se selecciona una válvula de expansión que puede trabajar en las condiciones dadas por el sistema y se diseña la tubería necesaria para unir todos los componentes seleccionados.

Ya que en este caso no se quería extraer una carga térmica específica de un espacio refrigerado, si no que la función del sistema es para fines didácticos, se empezó eligiendo la unidad condensadora más pequeña en

términos de potencia que contara con todos los elementos de seguridad y accesorios para el buen funcionamiento del sistema que se encuentran en la industria. Luego se seleccionó una unidad manejadora que ingresara una menor carga térmica al sistema de la que podía extraer la unidad condensadora seleccionada. Y, por último, se seleccionó la válvula de expansión necesaria para las condiciones del sistema y se diseñó la tubería necesaria. A continuación, se presenta la selección y diseño de los elementos básicos de un sistema de refrigeración por compresión de un vapor.

1. Unidad condensadora. Al ser este un sistema didáctico de refrigeración, no se tiene una carga específica que se necesite entregar por parte de la unidad condensadora. Es por esto se eligió una unidad condensadora que fuera de la menor potencia posible, pero que contará con todos los elementos que se encuentran en cualquier instalación industrial de refrigeración. Además, ya que sabemos las condiciones ambientales del lugar donde se encontrará la unidad condensadora y que hemos seleccionado un tipo de refrigerante para operar, se puede obtener la capacidad de refrigeración respecto a la temperatura de evaporación.

Se seleccionó una unidad condensadora CHN005X6B de compresor hermético para refrigerante R407C, refrigerado por aire para una instalación eléctrica de 208-230 Volts, monofásica y 60Hz de la marca Chandler. Esta unidad cuenta con los siguientes componentes:

- Acumulador de aspiración.
- Compresor hermético de 1/2HP para refrigerante R407C.
- Condensador de tubo con aletas con flujo de aire forzado.
- Recipiente de líquido.
- Filtro de humedad.
- Visor de líquido.
- Presostato de alta y baja presión.

Esta unidad condensadora tiene las siguientes especificaciones dadas por el fabricante:

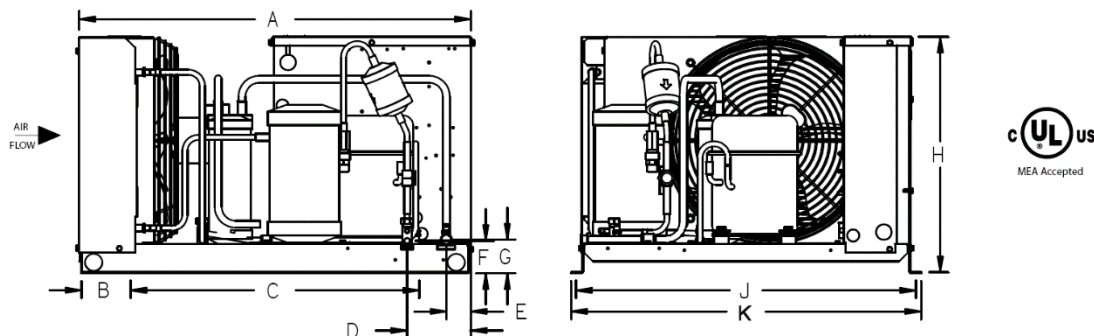
Cuadro 7. Especificaciones físicas de unidad condensadora CHN005X6B [13].

Refrigerante	Compresor		Conexiones (in)		Capacidad de recipiente (90%)	Peso neto	Sonido	Altitud	Temperatura ambiente
	Modelo	HP	Líquido	Succión	Libras	lbf	dB	Pies	°F
R407C	RST45C1E	0.5	3/8	1/2	5.5	162	68	5,000	86

Cuadro 8. Especificaciones eléctricas de unidad condensadora CHN005X6B [13].

Fuente de alimentación	Compresor		Motor de ventilador			Máxima corriente en el circuito		Protección máxima de sobre corriente		Ventilador de evaporador
	RLA	LRA	QTY	HP	FLA	Aire	Eléctrico	Aire	Eléctrico	Amperes
208-230/1/60	4.6	26.5	1	1/15	0.5	15	20	15	20	8

Figura 42. Bosquejo de unidad condensadora CHN005X6B [13].



Cuadro 9. Dimensiones físicas de unidad condensadora CHN005X6B [13].

A (in)	B (in)	C (in)	D (in)	E (in)	F (in)	G (in)	H (in)	J (in)	K (in)
28.25	3.5	21.125	4.5	1.75	2.375	2.5	17.25	24.25	25.125

Cuadro 10. Capacidad en BTU/h con respecto a la temperatura de evaporación en la unidad condensadora CHN005X6B [13].

40 °F	35 °F	30 °F	25 °F	20 °F	15 °F	10 °F	5 °F	0 °F	-5 °F
7,582.91	6,873.02	6,163.13	5,528.53	4,915.45	4,377.65	3,839.86	3,398.86	2,957.87	0

Conociendo todas las especificaciones técnicas de la unidad condensadora a utilizar, se procedió a seleccionar la temperatura de evaporación deseada para el funcionamiento del sistema de refrigeración. La temperatura seleccionada fue de 40 °F en la cual nuestra unidad condensadora tendrá una capacidad de refrigeración de 7,582.91 BTU/h.

**2. Unidad manejadora.** Al conocer la capacidad de refrigeración capaz de absorber del sistema por medio de la unidad condensadora, se debe determinar el caudal de aire mínimo necesario para poder seleccionar la unidad manejadora necesaria para el sistema de refrigeración. Para poder determinar el caudal de aire mínimo, es necesario establecer la temperatura teórica con la cual el aire entrará, y con la cual saldrá de la unidad manejadora, y luego por medio de la carta psicrométrica a la altura sobre el nivel del mar donde se encontrará la instalación (5,000 ft), encontrar su entalpía específica.

Para conocer las condiciones a las cuales entrará el aire a la unidad manejadora, se debe tomar en cuenta la temperatura ambiente teórica a la cual se encontrará el sistema de refrigeración. Ya que esta temperatura es de 86 °F se estima que la temperatura a la cual entrará el aire a la unidad manejadora es 6 °F menor a esta, ya que el aire debe tener una temperatura menor que la ambiental para mantener un equilibrio térmico entre el calor entrante por diferentes razones y el absorbido por el aire. Por lo tanto, se obtiene una temperatura de entrada de 80 °F y se supone una temperatura de bulbo húmedo de 67 °F por la humedad existente en el ambiente.

Cuadro 11. Condiciones a las cuales entrará el aire a la unidad manejadora.

Temperatura de bulbo seco	Temperatura de bulbo húmedo	Humedad relativa	Entalpía específica
80 °F	67°F	53%	34.65 BTU/lbm

Para encontrar la temperatura teórica a la cual saldrá el aire de la unidad manejadora, se utiliza la siguiente ecuación [5]:

$$T_{\text{salida de aire en evaporador}} = T_{\text{evaporación}} + 8^{\circ}\text{C}$$

Ya que conocemos nuestra temperatura de evaporación, la cual es de 40 °F (4.44 °C), podemos conocer la temperatura a la cual saldrá teóricamente el aire de nuestra unidad manejadora. Siendo esta de 12.44 °C (55.4 °F). Además, se supuso que el aire saldría con una temperatura de bulbo húmedo de 53 °F debido a que el aire gana humedad al pasar por el evaporador.

Cuadro 12. Condiciones a las cuales saldrá el aire de la unidad manejadora.

Temperatura de bulbo seco	Temperatura de bulbo húmedo	Humedad relativa	Entalpía específica
54.4 °F	53 °F	92%	23.87 BTU/lbm

Para calcular el caudal mínimo de aire necesario se utiliza la siguiente fórmula [5]:

$$\dot{Q} = \rho * \dot{V} * \Delta h * 60$$

Donde  $\dot{Q}$  es la carga de refrigeración existente en BTU/h,  $\rho$  es la densidad del aire en lbm/ft<sup>3</sup> a una altura sobre el nivel del mar específico,  $\dot{V}$  es el caudal de aire en cfm y  $\Delta h$  es el cambio de entalpía en BTU/lbm.

Utilizando dicha ecuación con una carga de refrigeración de 7,582.91 BTU/h, una densidad de aire de 0.0659 lbm/ft<sup>3</sup>, un cambio de entalpía de 10.78 BTU/lbm, y despejando al caudal de aire, se obtiene un caudal de aire mínimo necesario de 178 cfm.

Luego se procedió a seleccionar una unidad manejadora que cumpliera con las siguientes condiciones:

- Caudal de aire mayor a 178 cfm
- Capacidad de refrigeración menor a 7,582.91 BTU/h
- Contar como un motor EC (Electronically Commutated) para poder variar fácilmente el caudal de aire que es ingresado a la unidad manejadora.
- Contar con un evaporador que trabaje con R407C.

Se seleccionó una unidad manejadora LH-B002DXB302R000 de la marca Williams. Con las especificaciones que se muestran a continuación.

Cuadro 13. Especificaciones físicas y eléctricas de la unidad manejadora LH-B002DXB302R000 [19].

Familia	Gabinete	Tamaño	Caudal (cfm)	Tipo de motor	HP	Voltaje	Fases	Frecuencia	Hileras de bobinas	Peso neto (lbf)
Horizontal	LH-B Mano derecha	002	200	ECM	1/3	208 V	1	60 HZ	4	80

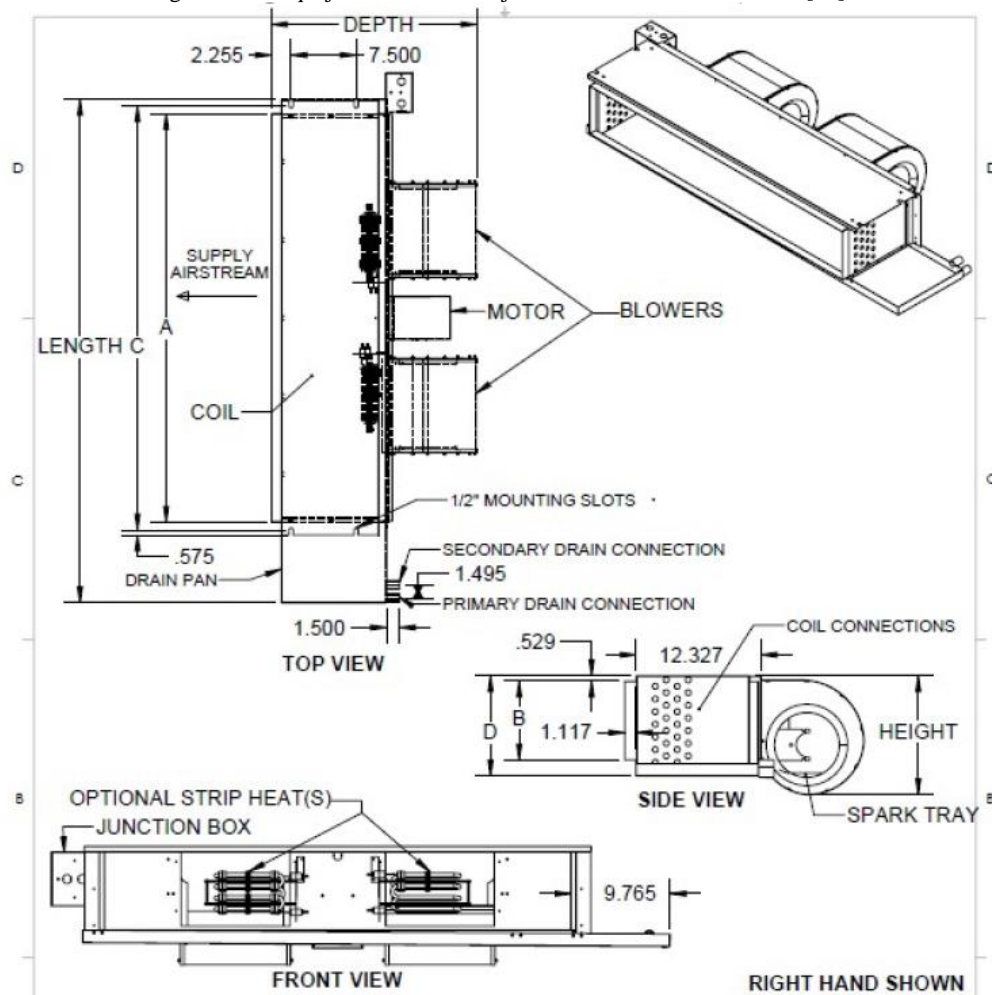
Cuadro 14. Especificaciones del evaporador de la unidad manejadora LH-B002DXB302R000 [19].

Refrigerante	Carga total (BTU/h)	Tamaño de conexión del evaporador
R407C	7,266	½ in

Cuadro 15. Dimensiones físicas de la unidad manejadora LH-B002DXB302R000 [19].

General				Ducto de suministro				
Tamaño de unidad	Largo	Alto	Profundidad	A	B	C	D	Sopladores
002	30 in	9.88 in	22.5 in	19.13 in	6 in	20.88 in	8 in	1

Figura 43. Bosquejo de unidad manejadora LH-B002DXB302R000 [19].



Se debe seleccionar una unidad manejadora con menor carga total de refrigeración que la carga de la unidad condensadora, ya que la carga total que tiene la unidad condensadora es el valor de la potencia máxima que esta unidad puede disipar, y la carga total de la unidad manejadora es la potencia máxima que puede ingresar al sistema por medio de su evaporador.

**3. Válvula de expansión.** Al conocer la capacidad de refrigeración capaz de absorber la unidad manejadora seleccionada, y las condiciones de operación de la unidad condensadora y manejadora; se puede determinar la válvula de expansión necesaria para el sistema. Ya que este es un sistema de refrigeración didáctico, se requiere que se puedan variar condiciones del sistema de forma rápida. Debido a esto se decidió seleccionar una válvula de expansión electrónica, la cual es capaz de cambiar sus condiciones de funcionamiento en poco tiempo.

Para determinar la válvula de expansión electrónica necesaria, se debe conocer el refrigerante a utilizar en el sistema (R407C), la capacidad de refrigeración máxima de la unidad manejadora (7,266 BTU/h), la

temperatura de condensación y la temperatura de evaporación (40 °F). Con estos cuatro datos se utiliza la siguiente figura para verificar que la carga máxima resultante, que puede entregar la válvula de expansión a dichas condiciones sea mayor a la carga máxima entregada por el evaporador que se encuentra en la unidad manejadora.

Figura 44. Capacidades de refrigeración de válvula electrónica de expansión marca DANFOSS ETS 6 – 10 [8].

Capacity (TR)		US units									
	Condensing temperature (°F)	ETS 6-10									
		Evaporation temperature [°F]									
		-40	-35	-25	-15	-5	15	25	35	45	55
R22	75	0.76	0.76	0.76	0.75	0.74	0.70	0.67	0.62	0.65	0.47
	85	0.78	0.79	0.79	0.78	0.77	0.74	0.72	0.68	0.74	0.57
	95	0.80	0.80	0.81	0.81	0.80	0.78	0.76	0.73	0.82	0.64
	115	0.81	0.82	0.82	0.83	0.83	0.82	0.81	0.80	0.92	0.74
	125	0.81	0.81	0.82	0.83	0.83	0.83	0.83	0.81	0.96	0.77
R134a	75	0.55	0.55	0.56	0.56	0.56	0.54	0.52	0.49	0.44	0.38
	85	0.56	0.56	0.57	0.58	0.58	0.57	0.55	0.53	0.50	0.45
	95	0.57	0.57	0.58	0.59	0.59	0.59	0.58	0.57	0.55	0.51
	115	0.56	0.57	0.58	0.60	0.61	0.62	0.62	0.61	0.60	0.59
	125	0.55	0.56	0.57	0.59	0.60	0.62	0.62	0.62	0.62	0.61
R404A	75	0.54	0.54	0.54	0.55	0.55	0.53	0.51	0.48	0.43	0.37
	85	0.53	0.53	0.54	0.55	0.55	0.54	0.53	0.50	0.48	0.43
	95	0.51	0.52	0.53	0.54	0.54	0.54	0.54	0.52	0.50	0.47
	115	0.46	0.46	0.48	0.49	0.50	0.52	0.52	0.52	0.51	0.50
	125	0.41	0.42	0.44	0.45	0.47	0.49	0.49	0.50	0.49	0.49
R407C	75	0.36	0.37	0.39	0.40	0.42	0.44	0.45	0.46	0.46	0.46
	85	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.76	0.74	0.70	0.66	0.59
	95	0.78	0.79	0.79	0.80	0.80	0.79	0.77	0.75	0.71	0.66
	115	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	0.81	0.80	0.78	0.75	0.72
	125	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.82	0.82	0.81	0.80	0.78
R410A	75	0.74	0.75	0.76	0.78	0.79	0.81	0.81	0.81	0.80	0.79
	85	0.70	0.71	0.73	0.75	0.76	0.78	0.79	0.79	0.79	0.78
	95	0.95	0.95	0.94	0.94	0.92	0.86	0.82	0.78	0.69	0.58
	115	0.96	0.96	0.96	0.95	0.94	0.90	0.87	0.83	0.76	0.68
	125	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.93	0.90	0.88	0.82	0.76
R410A	115	0.92	0.93	0.93	0.94	0.94	0.93	0.92	0.91	0.87	0.84
	125	0.88	0.88	0.89	0.90	0.91	0.91	0.90	0.89	0.87	0.84
	135	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.86	0.86	0.84	0.82

Para determinar la temperatura de condensación en un sistema de aire acondicionado, se utiliza la siguiente ecuación [11]:

$$T_{\text{condensación}} = T_{\text{ambiente}} + 15^{\circ}\text{C}$$

Ya que la temperatura ambiente es de 86 °F (30 °C), la temperatura de evaporación resultante es de 113 °F (45 °C).

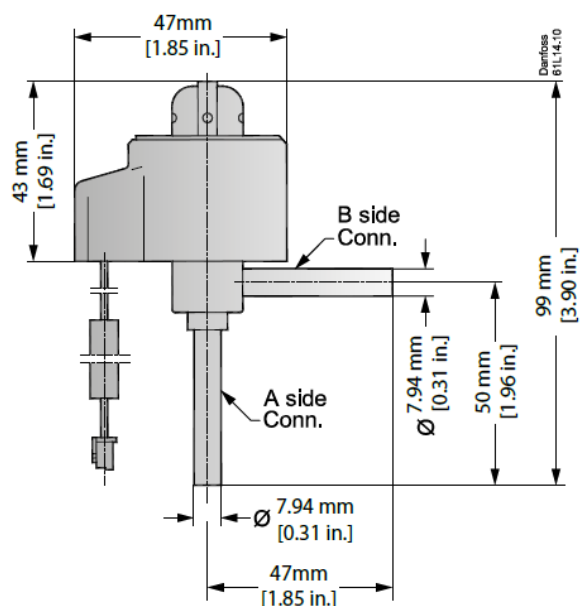
Al conocer la temperatura de condensación (113 °F), la temperatura de evaporación (40°F), el refrigerante a utilizar (R407C), y la capacidad máxima entregada por la unidad manejadora de aire (7,266 BTUH=0.6055 Toneladas de refrigeración); interpolando en la Figura 44 se puede determinar que la capacidad máxima de dicha válvula electrónica de expansión a las condiciones de operación establecidas es de 0.801 Toneladas de refrigeración. Ya que la capacidad de refrigeración de la válvula es mayor a la dada por el sistema de

refrigeración, se procede a seleccionar la válvula de expansión ETS 6-10 de la marca DANFOSS. En el siguiente cuadro se muestran las especificaciones de la válvula seleccionada.

Cuadro 16. Especificaciones técnicas de la válvula de expansión electrónica ETS 6 – 10 marca DANFOSS [8].

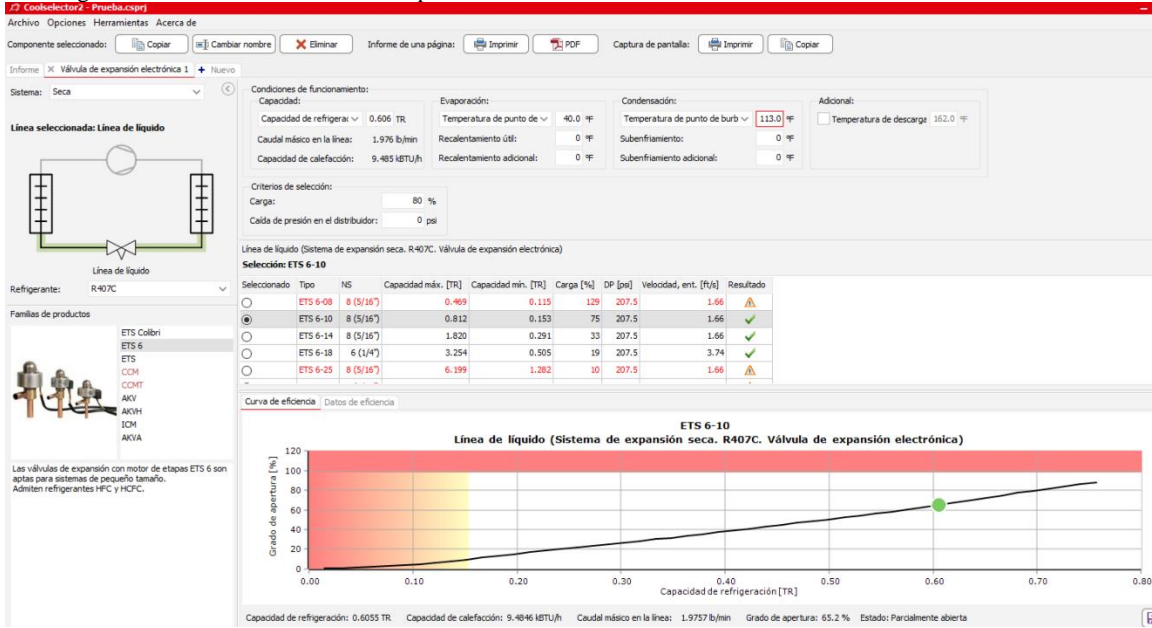
Tipo	Orificio (in)	Capacidad nominal para R407C	Conexión (soldada)	Configuración del tubo de la válvula	Presión máxima de operación	Diferencial de presión máxima de operación	Peso neto	Código
ETS 6 - 10	3/64	0.767 TR	5/16 in	90°	681 psi	507 psi	0.35 lbs	034G5005

Figura 45. Dimensiones de la válvula de expansión electrónica ETS 6 – 10 marca DANFOSS [8].



Además, se comprobó con el software “coolselector 2” de la marca DANFOSS que se estuviera seleccionando la válvula de expansión electrónica correcta. Se ingresaron los datos necesarios, los cuales ya fueron mencionados con anterioridad y se obtuvo lo mostrado en la siguiente figura.

Figura 46. Selección de válvula de expansión electrónica con software “Coolselector 2” de la marca DANFOSS.



Como se puede observar en la Figura 44, el software recomendó el uso de una válvula de expansión electrónica ETS 6 – 10 para las condiciones de operación existentes en el sistema de refrigeración diseñado.

4. Tubería. Para poder diseñar la tubería necesaria para el sistema de refrigeración, de primero se debe conocer en qué posición será colocada la unidad condensadora y la unidad manejadora. Para la instalación de estos componentes, se creó un banco con las menores dimensiones posibles para albergar los componentes antes diseñados. El banco creado tiene unas medidas nominales de 1.276 m de largo, 0.646 m de ancho y 1.223 m de alto.

Figura 47. Vista superior del banco (medidas en milímetros).

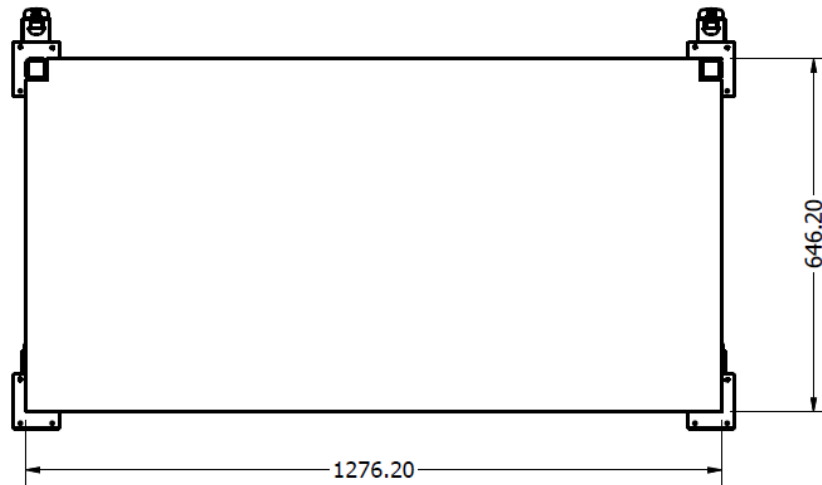
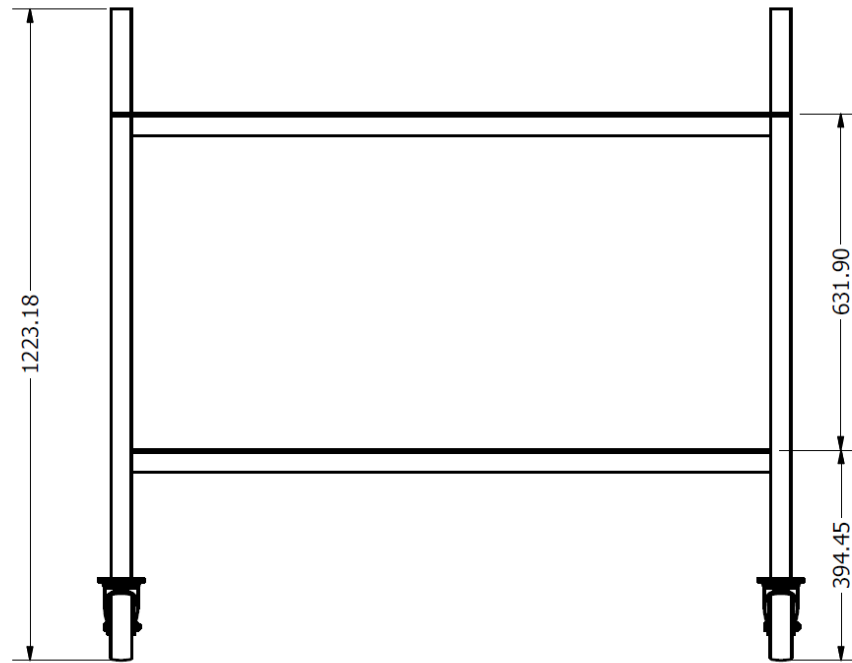


Figura 48. Vista frontal del banco (medidas en milímetros).



Al conocer las medidas del lugar donde se van a localizar los diferentes componentes, ahora se puede seleccionar un lugar donde estos se deberán de montar. En las siguientes figuras se muestran las posiciones, tanto de la unidad condensadora como de la unidad manejadora, donde se montarán en el banco.

Figura 49. Posición de la unidad condensadora en el banco (medidas en milímetros).

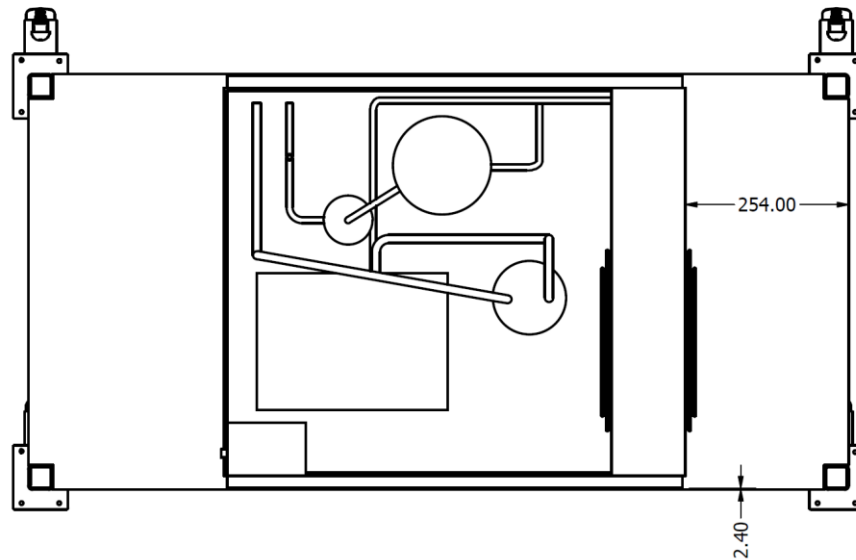
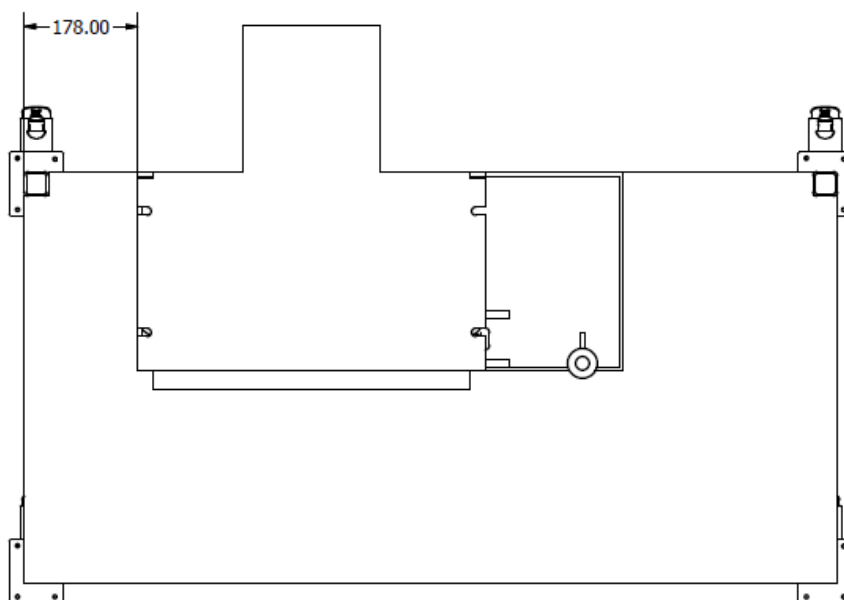


Figura 50. Posición de la unidad manejadora en el banco (medidas en milímetros).



Luego se realizó un bosquejo simple de la tubería de succión y de la tubería de líquido para saber el largo de tubería necesario y los accesorios requeridos para realizar la unión de los componentes principales. Es prudente aclarar que la línea de succión se considera a la tubería que se encuentra desde la válvula de expansión hasta la unidad condensadora, el nombre de línea de succión se debe a que en toda esta línea de tubería se encuentra a la presión de succión del compresor. Y la línea de líquido es la tubería que se encuentra desde la unidad condensadora hasta la válvula de expansión, el nombre de línea de líquido proviene de que por esta sección de tubería solo fluye refrigerante en estado líquido. En las siguientes figuras se muestran los bosquejos simples de las tuberías, con sus respectivas medidas.

Figura 51. Bosquejo de tubería de succión con sus respectivas medidas en pies.

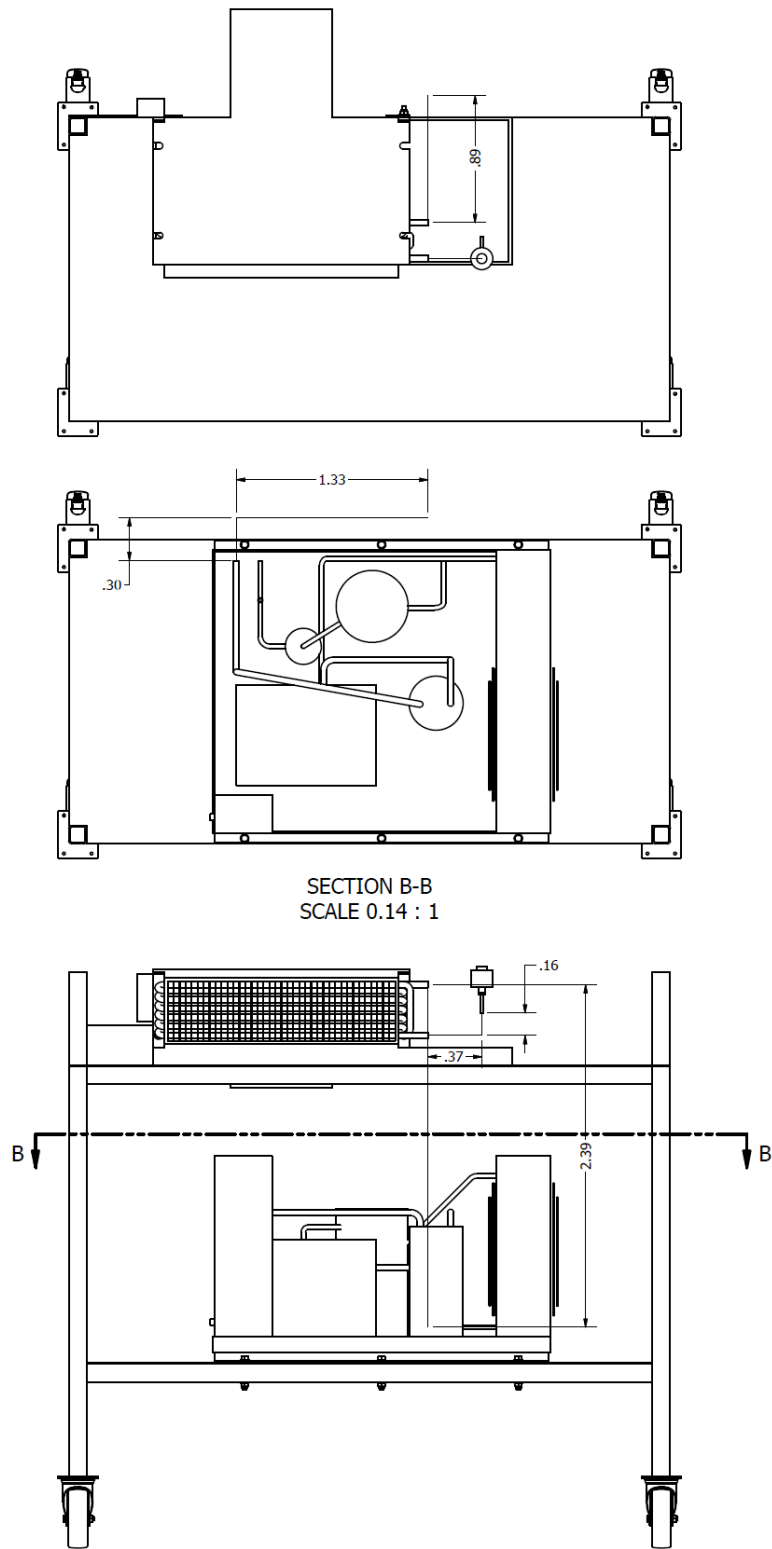
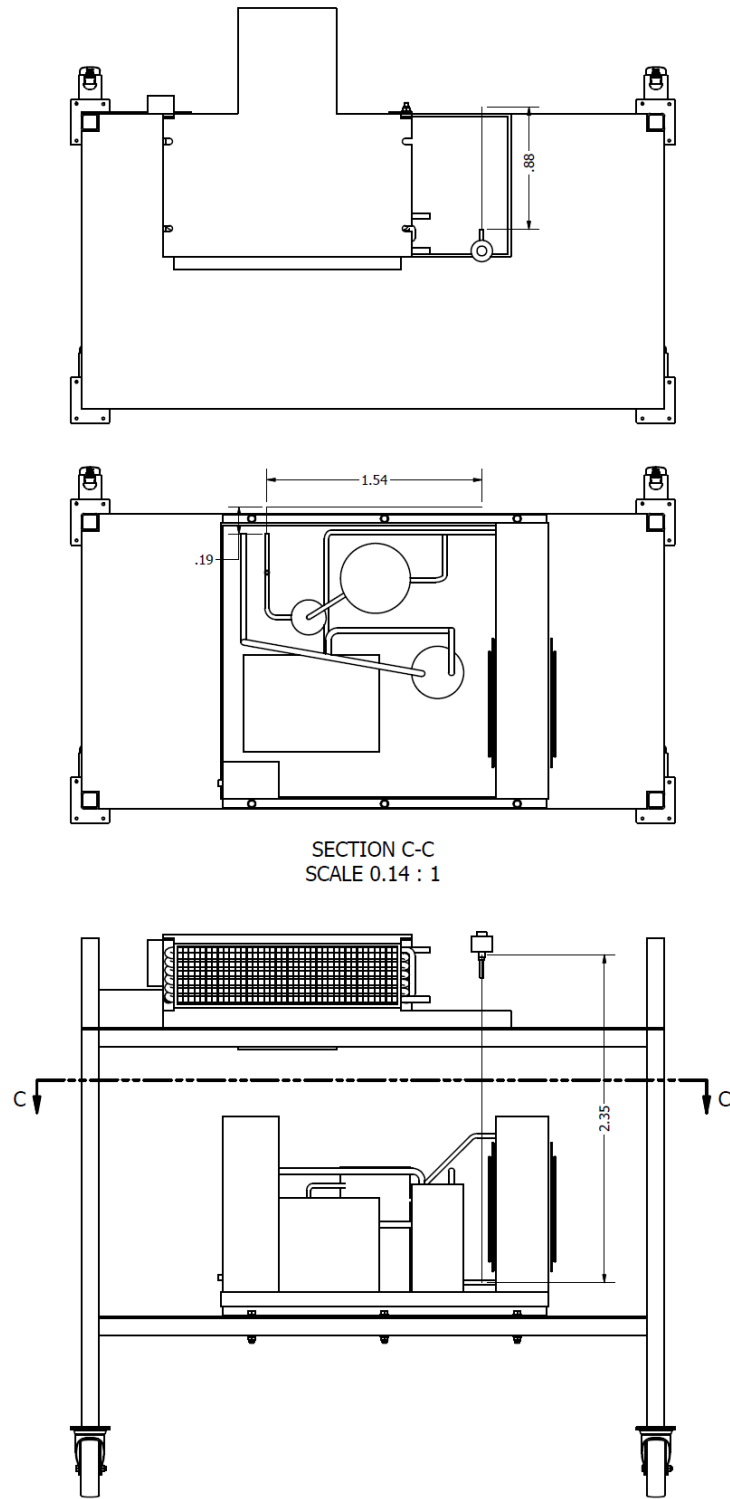


Figura 52. Bosquejo de tubería de líquido con sus respectivas medidas en pies.





Ya que en la Figura 53 no se encuentra la capacidad exacta de nuestro sistema de refrigeración, debido a esto se procede a calcular con la capacidad de refrigeración inmediatamente superior (9,000 BTU/h). Por medio de la Figura 53, se determinó que el diámetro necesario para la línea de succión es de ½ in, y para la línea de líquido es de 3/8. Pero este aun no es el diámetro seleccionado, ya que no se ha tomado en cuenta la longitud equivalente agregada por el uso de los diferentes accesorios. Este diámetro solo nos ayuda a calcular la longitud equivalente de los diferentes accesorios y lograr comprobar si los diámetros encontrados previamente si satisfacen con el largo equivalente total.

Gracias al bosquejo realizado previamente, se puede determinar los accesorios necesarios y calcular la longitud equivalente total de la tubería por medio del Cuadro 17. Entre los accesorios que provocan una longitud equivalente necesarios solo se encuentran los codos de 90° y las reducciones de diámetro necesarias. Los acoples rectos para la tubería no provocan una longitud equivalente, ya que al utilizarlos queda una superficie interior completamente lisa. La longitud equivalente total de la línea de succión se muestra en el Cuadro 18. La longitud equivalente total de la línea de líquido se muestra en el Cuadro 19.

Cuadro 17. Largo equivalente de tubería en pies provocada por accesorios [12].

Tubería de cobre tipo "L"	Válvula de globo abierta	Válvula de bola abierta	Codo de 90° con radio amplio	"T" estándar	Codo de 90° o "T" con reducción de diámetro	Acople reductor
3/8	13	6	2	0.5	1	0.6
½	14	7	3	0.75	1	0.8
5/8	16	9	4	1	2	1
7/8	22	12	5	1.5	2	1.5
1 1/8	28	15	6	2	3	2
1 3/8	36	18	8	2.5	4	2.5
1 5/8	42	21	9	3	4	3
2 1/8	57	28	12	3.5	5	3.5
2 5/8	69	34	14	4	7	4
3 1/8	83	42	17	5	8	5
3 5/8	99	49	20	6	10	6
4 1/8	118	57	22	7	12	7
5 1/8	138	70	28	9	14	9
6 1/8	168	83	34	11	16	11

Cuadro 18. Largo equivalente de tubería en línea de succión de ½ in.

Elemento	Cantidad	Longitud equivalente	Total
Tubería recta	1	5.45 ft	5.45 ft
Codo de 90°	5	1 ft	5 ft
Reducción de diámetro	1	0.8 ft	0.8 ft
Total			11.25 ft

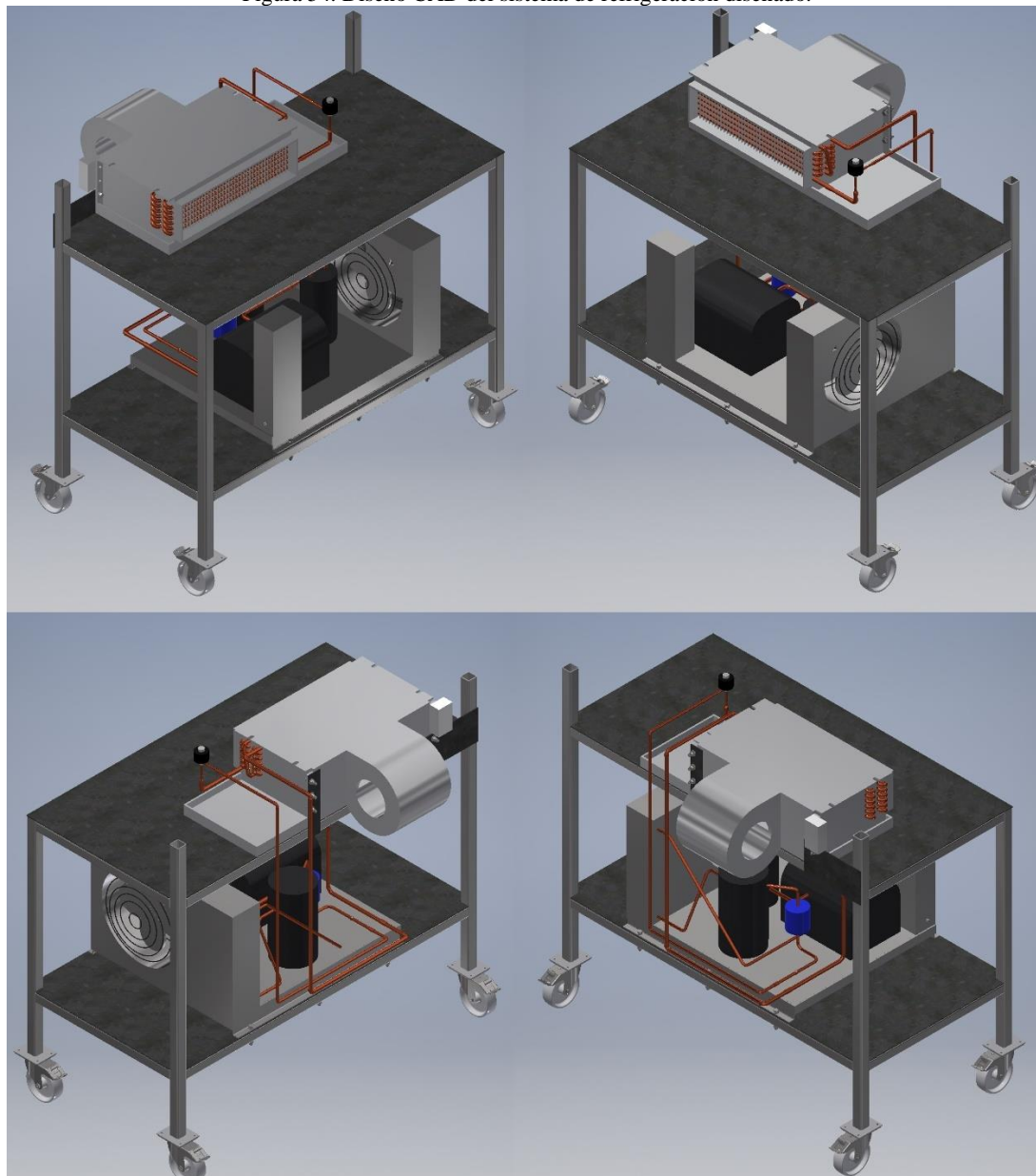
Cuadro 19. Largo equivalente de tubería en línea de líquido de 3/8 in.

Elemento	Cantidad	Longitud equivalente por accesorio	Total
Tubería recta	1	4.96 ft	4.96 ft
Codo de 90°	3	1 ft	3 ft
Reducción de diámetro	1	0.6 ft	0.6 ft
Total			8.56 ft

Al saber la longitud equivalente total se utiliza la Figura 53 en la cual sabiendo que la capacidad del sistema es de 7266 BTU/h, conociendo la temperatura de succión de 40°F y las longitudes equivalentes; se puede llegar a determinar el diámetro de la tubería necesaria para cada línea. Tomando en cuenta estos datos para la tubería de succión (11.25 ft de longitud equivalente), se determinó que el diámetro necesario es de ½ in. Tomando en cuenta estos datos para la tubería de líquido (8.56 ft de longitud equivalente), se determinó que el diámetro necesario es de 3/8 in.

Por último, se realizó un diseño CAD de todo el ensamblaje del sistema refrigerado para comprobar que la tubería no se encontrara obstaculizada por ningún otro elemento. Además, por la utilización de accesorios como los codos y las reducciones de diámetros, el largo necesario de cada tubería es menor al largo predicho en el bosquejo. Por lo tanto, por medio del CAD realizado se pueden conocer los largos exactos de cada sección de tubería.

Figura 54. Diseño CAD del sistema de refrigeración diseñado.



Los resultados obtenidos fueron de 5.35 ft de tubería recta necesaria para la línea de succión y de 4.95 ft de tubería recta necesaria para la línea de líquido. Luego de incluir el largo equivalente provocado por cada accesorio, se determinó un largo equivalente de 11.15 ft para la línea de succión y de 8.55 ft para la línea de líquido, observando de nuevo la Figura 53 se puede concluir que los diámetros necesarios de las tuberías siguen siendo los mismos (1/2 in para la succión y 3/8 in para la línea de líquido).

## B. ENSAMBLAJE

Al contar ya con un banco que albergará los componentes básicos de refrigeración, se procede a instalar de primero la unidad condensadora. Esta unidad se debe colocar como se muestra en la Figura 57, y por medio del diseño CAD realizado se determinó que son necesarios 6 pernos de 3/8 in de diámetro y 2.5 in de largo colocados en su base con sus respectivas arandelas helicoidales de 3/8 in de diámetro y tuerca hexagonal de seguridad de 3/8, para ser fijada la unidad condensadora al banco. Debido a que los pernos no están sometidos a un esfuerzo de tensión, porque el banco soporta todo el peso provocado por la unidad condensadora, y no existe un esfuerzo cortante ya que no existen fuerzas radiales al perno, se calculó el grado del perno necesario para resistir el peso de la unidad condensadora ejerciendo solo una fuerza de tensión.

Ya que la unidad condensadora tiene un peso de 162 lbf, y esta está sujeta por 6 pernos de 3/8 in de diámetro, se utiliza la siguiente ecuación para encontrar el esfuerzo al que estará sometido cada perno [5].

$$S_t = \frac{F_t}{A_t}$$

Donde  $S_t$  es el esfuerzo provocado al perno en tensión,  $F_t$  es la fuerza de tensión provocada al perno y  $A_t$  es el área de esfuerzo a tensión del perno.

Ya que son 6 diferentes pernos los que sujetan la unidad condensadora, la fuerza que debe soportar cada uno es de 27 lbf y por medio de la Figura 55 se puede determinar el área de esfuerzo a tensión de un perno de 3/8 in de diámetro de la serie gruesa (UNC), el cual es de 0.0775 in<sup>2</sup>. Al saber estos datos se puede calcular el esfuerzo al que estará sometido cada perno, siendo este de 50.17 kpsi.









Figura 55. Diámetros y área de roscas unificadas de tornillo UNC y UNF [5].

Designación de tamaño	Diámetro mayor nominal	Serie gruesa-UNC		Serie fina-UNF			
		Roscas por pulgada, $N$	Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , pulg <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , pulg <sup>2</sup>	Roscas por pulgada, $N$	Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , pulg <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , pulg <sup>2</sup>
0	0.0600						
1	0.0730	64	0.002 63	0.002 18	80	0.001 80	0.001 51
2	0.0860	56	0.003 70	0.003 10	72	0.002 78	0.002 37
3	0.0990	48	0.004 87	0.004 06	64	0.003 94	0.003 39
4	0.1120	40	0.006 04	0.004 96	56	0.005 23	0.004 51
5	0.1250	40	0.007 96	0.006 72	48	0.006 61	0.005 66
6	0.1380	32	0.009 09	0.007 45	44	0.008 80	0.007 16
8	0.1640	32	0.014 0	0.011 96	40	0.010 15	0.008 74
10	0.1900	24	0.017 5	0.014 50	36	0.014 74	0.012 85
12	0.2160	24	0.024 2	0.020 6	32	0.020 0	0.017 5
$\frac{1}{4}$	0.2500	20	0.031 8	0.026 9	28	0.025 8	0.022 6
$\frac{3}{8}$	0.3125	18	0.052 4	0.045 4	24	0.036 4	0.032 6
$\frac{1}{2}$	0.3750	16	0.077 5	0.067 8	20	0.058 0	0.052 4
$\frac{5}{8}$	0.4375	14	0.106 3	0.093 3	18	0.087 8	0.080 9
$\frac{3}{4}$	0.5000	13	0.141 9	0.125 7	16	0.118 7	0.109 0
$\frac{7}{8}$	0.5625	12	0.182	0.162	14	0.159 9	0.148 6
$1$	0.6250	11	0.226	0.202	12	0.203	0.189
$1\frac{1}{4}$	0.7500	10	0.334	0.302	10	0.256	0.240
$1\frac{1}{2}$	0.8750	9	0.462	0.419	8	0.373	0.351
$2$	1.0000	8	0.606	0.551	7	0.509	0.480
$2\frac{1}{2}$	1.2500	7	0.969	0.890	6	0.663	0.625
$3$	1.5000	6	1.405	1.294	5	1.073	1.024
$3\frac{1}{2}$					4	1.581	1.521

\* Esta tabla se compiló de la norma ANSI B1.1-1974. El diámetro menor se determinó mediante la ecuación  $d_r = d - 1.299\ 038p$  y el diámetro de paso a partir de  $d_p = d - 0.649\ 519p$ . Para calcular el área de esfuerzo de tensión se usaron la media del diámetro de paso y el diámetro menor.

Al conocer el esfuerzo que debe soportar cada perno, por medio de la Figura 56 se puede observar que el grado del perno necesario es un grado SAE 2, ya que tiene una resistencia de prueba mínima de 55 kpsi, la cual es el máximo esfuerzo que puede soportar el perno sin experimentar una deformación permanente. Con esto se puede concluir que para soportar la unidad condensadora en el banco, son necesarios 6 pernos hexagonales de 3/8 pulg-16 UNC SAE grado 2, con un largo de 2.5 pulgadas.

Figura 56. Especificación SAE para pernos de acero [5].

Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, inclusivo, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	55	74	57	Acero de bajo o medio carbono	
		33	60	36		
4	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, estrado en frío	
5	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	85	120	92	Acero de medio carbono, T y R	
		74	105	81		
5.2	$\frac{1}{4}$ a 1	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
7	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Acero de aleación de medio carbono, T y R	
8	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero de aleación de medio carbono T y R	
8.2	$\frac{1}{4}$ a 1	120	150	130	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	

\* Las resistencias mínimas son resistencias que exceden 99 por ciento de los sujetadores.

Figura 57. Posición de la unidad condensadora en el banco (medidas en milímetros).

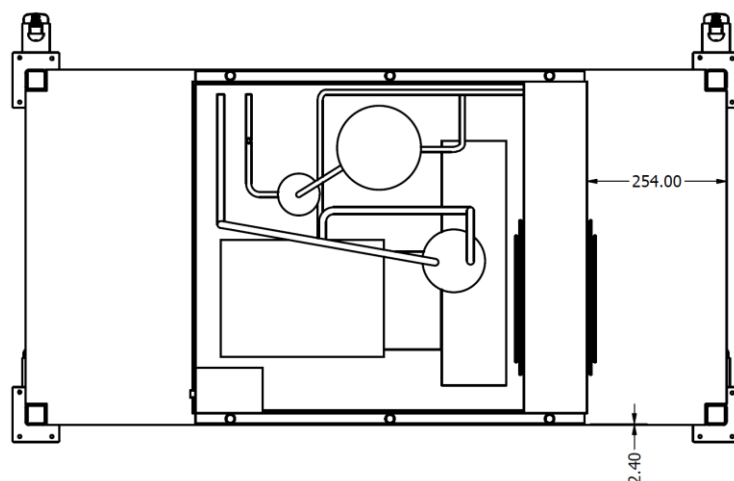
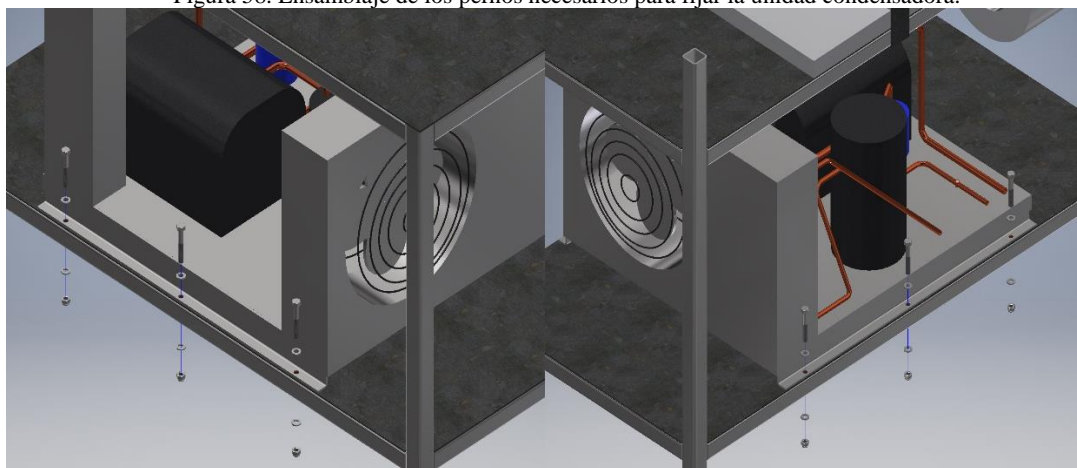


Figura 58. Ensamblaje de los pernos necesarios para fijar la unidad condensadora.



Luego se debe colocar la unidad manejadora en la posición donde muestra la Figura 61. Ya que la unidad manejadora seleccionada solo cuenta con orificios en su parte trasera, para poder fijar esta al banco se deben de agregar dos placas de acero en la parte trasera del banco. Debido a que estas placas no estarán sometidas a ningún esfuerzo, estas se deben de realizar de 1/8 in de espesor y de hierro negro como material solo por facilidad de realizar el proceso de soldadura por arco. En la Figura 59 se muestran las medidas de las placas necesarias en milímetros y en la Figura 60 se muestra en qué posición deben de ser soldadas al banco.

Figura 59. Dimensiones de las placas de fijación de la unidad manejadora en milímetros.

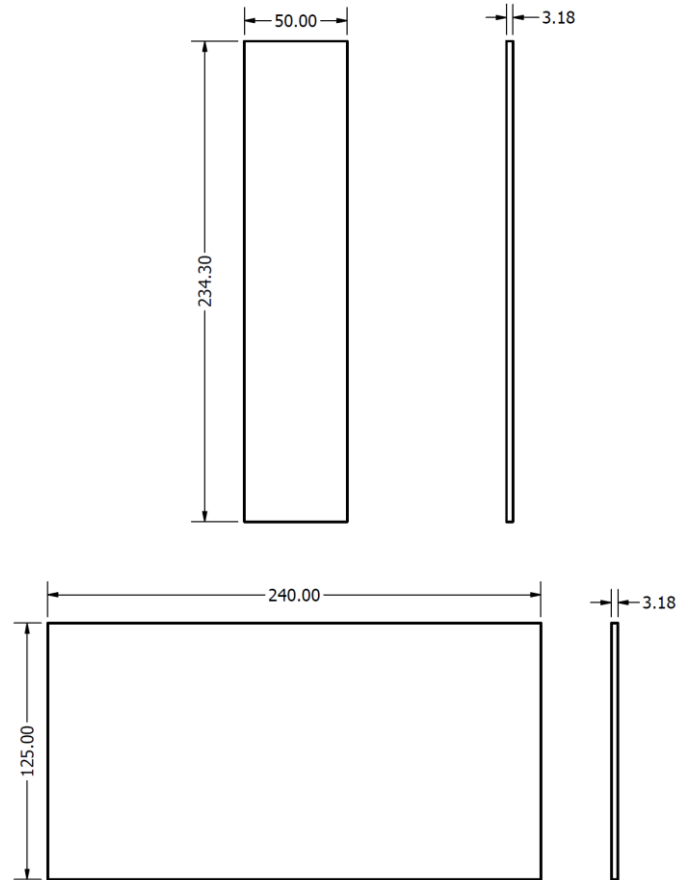
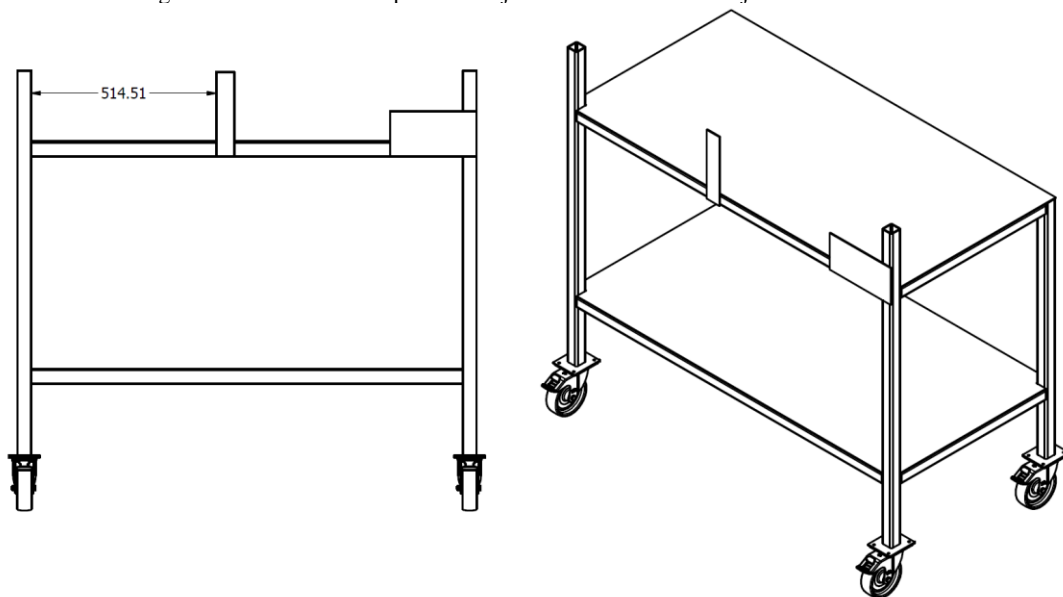


Figura 60. Posición de las placas de fijación de la unidad manejadora en milímetros.



Al contar ya con los lugares para fijar la unidad manejadora, por medio del diseño CAD realizado se determinó que son necesarios 4 pernos de 3/8 in de diámetro y 1.25 in de largo colocados en su base con sus respectivas arandelas planas de 3/8 in de diámetro y tuerca hexagonal de seguridad de 3/8 de diámetro, para fijar la unidad manejadora al banco. Debido a que los pernos no están sometidos a un esfuerzo de tensión, porque no existe ninguna fuerza que trate de separar a la unidad manejadora de sus soportes, y no existe un esfuerzo cortante ya que el banco soporta todo el peso provocado por la unidad manejadora, se calculó el grado del perno necesario para resistir el peso de la unidad manejadora ejerciendo solo una fuerza tangente al perno.

Ya que la unidad manejadora tiene un peso de 80 lbf, y esta está sujeta por 4 pernos de 3/8 in de diámetro, se utiliza la siguiente ecuación para encontrar el esfuerzo al que estará sometido cada perno [5].

$$S_r = \frac{F_r}{A_r}$$

Donde  $S_r$  es el esfuerzo provocado al perno en cote,  $F_r$  es la fuerza de corte provocada al perno y  $A_r$  es el área del menor diámetro del perno.

Ya que son 4 diferentes pernos los que sujetan la unidad condensadora, la fuerza que debe soportar cada uno es de 20 lbf y por medio de la Figura 55 se puede determinar el área del menor diámetro de un perno de 3/8 in de diámetro de la serie gruesa (UNC), el cual es de 0.0678 in<sup>2</sup>. Al saber estos datos se puede calcular el esfuerzo al que estará sometido cada perno, siendo este de 42.48 kpsi.

Al conocer el esfuerzo que debe soportar cada perno, por medio de la Figura 56 se puede observar que el grado del perno necesario es un grado SAE 2, ya que tiene una resistencia de prueba mínima de 55 kpsi. Con esto se puede concluir que para soportar la unidad condensadora en el banco, son necesarios 4 pernos hexagonales de 3/8 pulg-16 UNC SAE grado 2, con un largo de 1.25 pulgadas.

Figura 61. Posición de la unidad manejadora en el banco (medidas en milímetros).

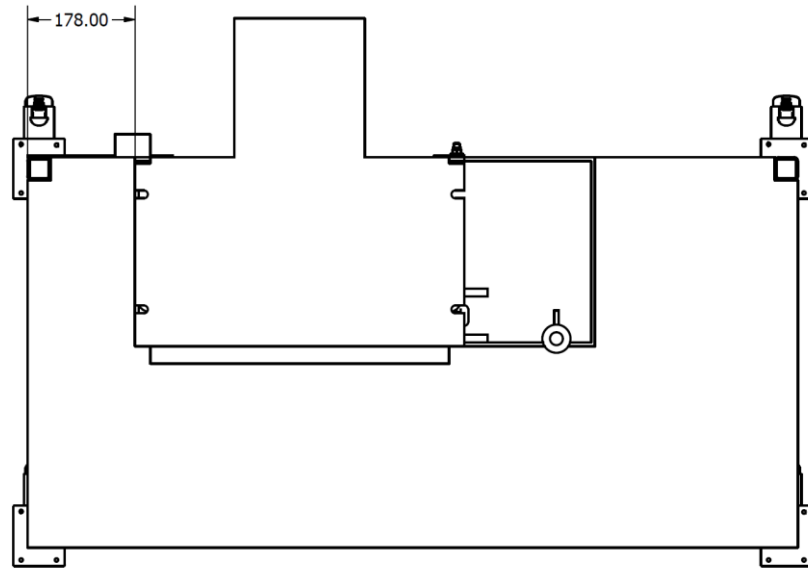
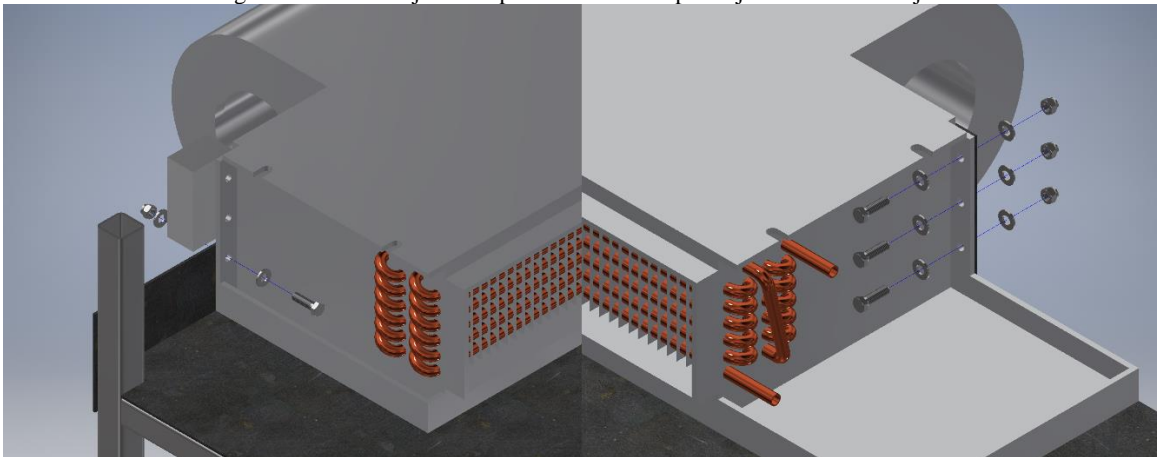
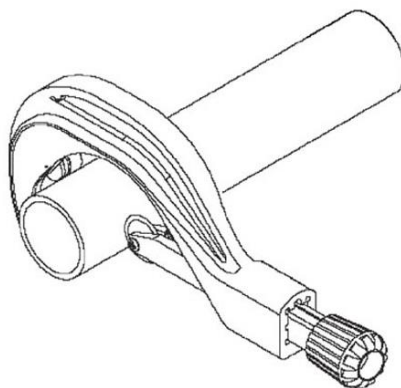


Figura 62. Ensamblaje de los pernos necesarios para fijar la unidad manejadora.



A continuación, se procedería a instalar la tubería diseñada. De primero se deben de cortar las secciones de tubería necesarias por medio de un cortador de tubo. En el Cuadro 20 se presentan los largos necesarios de tubería.

Figura 63. Corta tubo [14].

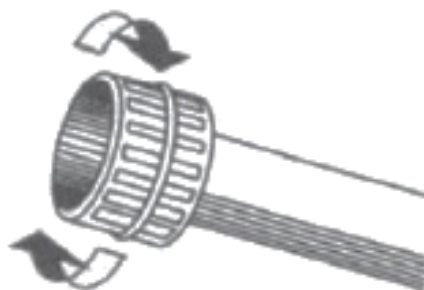


Cuadro 20. Largos de tubería necesarios.

Número de tubería	Diámetro (in)	Largo necesario (in)
1	½	3.72
2	½	15.69
3	½	28.02
4	½	10.51
5	½	4.13
6	½	1.25
7	¼	0.9
8	¼	1.2
9	3/8	9.6
10	3/8	28.2
11	3/8	18
12	3/8	2.4

Luego de haber cortado las secciones necesarias de tubo, se procede a la eliminación de las rebabas internas de los extremos del tubo, para permitir un buen acople con los accesorios. Este proceso se puede realizar por medio de un extractor de rebabas, un escariador o una escofina [14].

Figura 64. Eliminación de rebabas con escariador [14].



Después se realiza una limpieza de superficies externas e internas, tanto en los tubos como en los accesorios, por medio de una almohadilla abrasiva plástica, lana de acero, tela esmeril o un cepillo. Se debe evitar que las partículas desprendidas ingresen a los tubos o accesorios [14].

Figura 65. Limpieza superficial de tubería [14].



Inmediatamente después de haber realizado la limpieza se debe aplicar una capa fina de decapante no corrosivo sobre la superficie exterior del tubo utilizando un pincel. Este decapante sirve para proteger la superficie durante el calentamiento y aumenta el poder de penetración del material de aporte, además evita la oxidación en las superficies limpias. Después se procede a unir el tubo y el accesorio que se desean unir, ingresando el tubo en el accesorio hasta que este tope. En la Figura 68 se muestra que sección de tubo va con cada accesorio y el lugar de montaje de la tubería en el banco, la tubería esta numerada en relación con el Cuadro 20 [14].

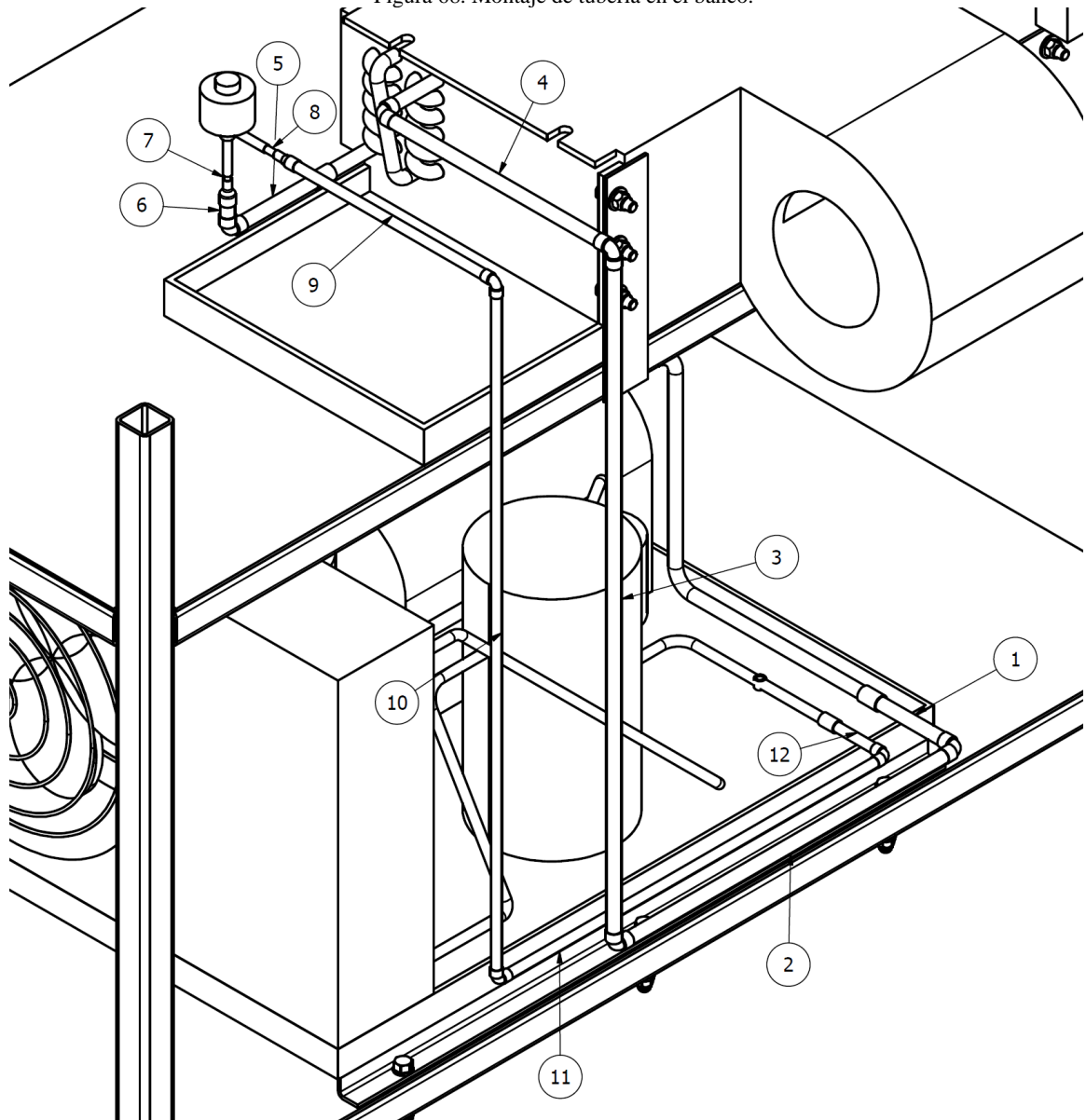
Figura 66. Aplicación de decapante [14].



Figura 67. Montaje entre tubo y accesorio [14].



Figura 68. Montaje de tubería en el banco.



Luego se procede a realizar el proceso de soldadura, para el cual es necesario un equipo de oxiacetilénico, un material de aporte (normalmente se utiliza una varilla de aporte de plata, que es una aleación de cobre con un porcentaje de plata), y un tanque de nitrógeno en estado gaseoso. De primero se aplica un flujo de nitrógeno de entre uno y dos litros por minuto de nitrógeno que pasa por adentro de la tubería a soldar. Este flujo de nitrógeno debe mantenerse en todo el proceso de soldadura. Luego se calienta el punto donde se realizará la soldadura con el soplete del equipo oxiacetilénico hasta que este punto se observe con un color rojo no brillante. Y por último se aplica el material de aporte hasta que se observe un cordón uniforme de soldadura alrededor del tubo y del borde del accesorio [14].

Figura 69. Calentamiento de las superficies a soldar [14].

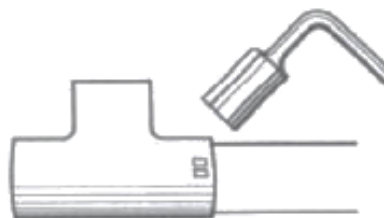
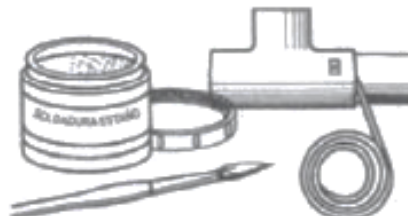
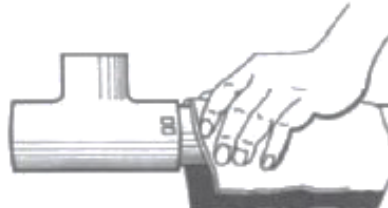


Figura 70. Aplicación del material de aporte [14].



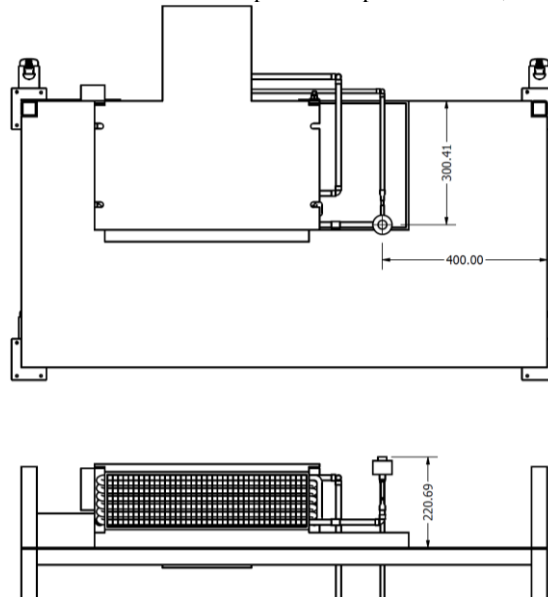
Por último, se debe esperar de 10 a 15 minutos a que la soldadura se enfríe a temperatura ambiente para que esta se solidifique, y así poder eliminar los sobrantes del material de aporte y del decapante mediante una limpieza final [14].

Figura 71. Limpieza final [14].



Al realizar el proceso de soldado de la válvula de expansión electrónica, se debe realizar el mismo procedimiento que con la tubería, solo que hay que verificar que la válvula se encuentre totalmente abierta. Además, la posición de la válvula de expansión queda definida por la posición final de la tubería de la línea de succión y de la línea de líquido. En la Figura 72 se muestra la posición final de la válvula de expansión electrónica respecto al banco [7].

Figura 72. Posición final de la válvula de expansión respecto al banco, medidas en milímetros.



Ya que contamos con todos los componentes básicos de refrigeración con toda su tubería soldada en el banco, se procede a realizar un proceso de evacuación. El proceso de evacuación consiste en conectar una bomba de alto vacío al sistema de refrigeración. Esta bomba se debe colocar en la válvula de servicio del compresor y debe operar hasta alcanzar una presión absoluta de 1,500 micrones. Luego se debe ingresar refrigerante por medio de un filtro deshidratador hasta llegar a una presión por encima de 0 Psig (presión relativa). Por último, activar la bomba de vacío otra vez hasta alcanzar una presión absoluta de 500 micrones y luego desconectar la bomba de vacío [12].

Ahora que el sistema se encuentra en vacío se procede a realizar la carga de refrigerante. Se debe instalar un filtro deshidratador en el puerto de servicio del receptor de líquido, para luego ingresar el refrigerante en estado líquido en este puerto de servicio. Se debe suministrar el refrigerante necesario para que el receptor de líquido llegue al 90% de su capacidad (En el sistema diseñado el 90% es de 5.5 litros). Para verificar que se agregó la cantidad adecuada de refrigerante, cuando el sistema esté en funcionamiento, se puede observar el visor y si se observan burbujas en él se debe de ingresar más refrigerante hasta que estas ya no se observen [12].

Figura 73. Refrigerante R407C [4].



## C.PRESUPUESTO

Ya que se logró diseñar todos los componentes necesarios y se conocen los accesorios necesarios para su instalación, se realizó el siguiente cuadro donde se muestra el costo de cada componente seleccionado.

Cuadro 21. Costos de componentes y accesorios necesarios.

Componente	Cantidad	Costo por Unidad	Costo total
Unidad condensadora Chandler CHN005X6B	1	Q 16,368.20	Q 16,368.20
Unidad manejadora Williams LH-B002DXB302R000	1	Q 2,936.00	Q 2,936.00
Válvula de expansión electrónica Danfoss ETS 6 - 10	1	Q 367.00	Q 367.00
Perno de cabeza hexagonal de 3/8 pulg-16 UNC SAE grado 2, con un largo de 2.5 pulgadas.	6	Q 1.31	Q 7.86
Perno de cabeza hexagonal de 3/8 pulg-16 UNC SAE grado 2, con un largo de 1.25 pulgadas.	4	Q 0.63	Q 2.52
Arandela helicoidal de 3/8 in	6	Q 0.46	Q 2.76
Arandela plana de 3/8 in	4	Q 0.68	Q 2.72
Rosca de seguridad de 3/8 in	10	Q 2.88	Q 28.80
Tubería de cobre rígida tipo "L" de 1/2 in de diámetro	5.28 ft	Q 193.93 por 20 ft	Q 193.93
Tubería de cobre rígida tipo rígida "L" de 3/8 in de diámetro	4.85 ft	Q 125.96 por 20 ft	Q 125.96
Tubería de cobre flexible tipo "L" de 1/4 in de diámetro	0.2 ft	Q 170.11 por 50 ft	Q 170.11
Codo de 90° de 1/2 in	5	Q 3.34	Q 16.70
Codo de 90° de 3/8 in	3	Q 2.34	Q 7.02
Acople recto de 1/2 in	2	Q 2.07	Q 4.14
Acople recto de 3/8 in	1	Q 1.50	Q 1.50
Acople reductor de 1/2 in a 1/4 in	1	Q 2.34	Q 2.34
Acople reductor de 3/8 in a 1/4 in	1	Q 8.10	Q 8.10
Refrigerante R407C	5.5 libras	Q 582.81 por 25 libras	Q 582.81
Total			Q 20,828.47

## VI. CONCLUSIONES

1. Se seleccionó una unidad condensadora CHN005X6B de la marca Chandler que contará con todos los elementos de seguridad para el usuario, como lo son los presostatos, y además contará con elementos que aseguran el buen funcionamiento del sistema, como el acumulador de succión, el retenedor de líquido, el filtro secador y el visor de líquido.
2. Se eligió una unidad manejadora LH-B002DXB302R000 de la marca Williams que puede ingresar una carga térmica al sistema de 7,266 BTU/h, siendo esta carga menor a la carga térmica que puede disipar la unidad condensadora escogida.
3. Se escogió una válvula de expansión electrónica ETS 6-10 de la marca Danfoss la cual es capaz de regular la capacidad de refrigeración del sistema de una forma rápida y puede variar fácilmente sus condiciones de trabajo.
4. La tubería necesaria para sistemas de refrigeración es de cobre tipo "L", esta cuenta con todos los accesorios necesarios para la elaboración de la línea de succión y la línea de líquido.
5. Se diseñó el sistema de tubería necesario para el ensamblaje del sistema, siendo este de  $\frac{1}{2}$  in de diámetro para la línea de succión y de  $\frac{3}{4}$  de diámetro para la línea de líquido.
6. El costo de los elementos y accesorios necesarios para la realización del sistema de refrigeración diseñado es de un valor total de Q 20,828.47

## VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que la persona que realice el proceso de soldadura de la tubería de cobre sea una persona ya experimentada con este la aplicación de soldadura oxiacetilénica, para que no se presenten fugas en el sistema.
2. Se recomienda realizar todo el proceso de soldadura de forma continua, para que no se presente oxidación en el interior de la tubería al encontrarse expuesta al medio ambiente.
3. Se recomienda contar siempre con un flujo de nitrógeno en el interior de la tubería al realizar el proceso de soldadura para que no se produzca escoria, ni oxidación dentro de la tubería, que pueda llegar a obstruir el flujo del refrigerante a largo plazo.
4. Se recomienda preguntar a los proveedores de tubería si desean donar, ya que la tubería necesaria es insignificante a comparación de la cantidad mínima que se vende.
5. Realizar el corte de los tramos de tubería con la herramienta adecuada, para obtener un corte limpio y seguro al momento de elaborar las diferentes líneas de tubería.
6. Al utilizar el sistema de refrigeración, se debe ubicar el banco en un lugar donde se tenga una buena circulación de aire para que el funcionamiento del sistema sea el adecuado.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Aldebaran Robotics. NAO Documentation. [En línea].  
[https://www.labvolt.com/solutions/4\\_refrigeration\\_and\\_hvac/80-3431-00\\_refrigeration\\_training\\_system](https://www.labvolt.com/solutions/4_refrigeration_and_hvac/80-3431-00_refrigeration_training_system)
- [2] Aldebaran Robotics. Robot Software. [En línea].  
[https://www.labvolt.com/solutions/4\\_refrigeration\\_and\\_hvac/80-3401-20\\_refrigeration\\_training\\_system](https://www.labvolt.com/solutions/4_refrigeration_and_hvac/80-3401-20_refrigeration_training_system)
- [3] Aroca, Santiago y A. Mayoral. 2015. *Tecnología frigorífica*. 1ª ed. Madrid: UNED. 385 págs.
- [4] Barreras, Ángel. 2006. *Manual técnico de refrigerantes*. 1ª ed. Madrid: Thomson. 248 págs.
- [5] Budynas, Richard y J. Keith. 2012. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. 9ª ed. México, D.F.: McGraw-Hill. 1028 págs.
- [6] Carrier. 2008. *Manual de aire acondicionado*. 2ª ed. Barcelona: Marcombo. 640 págs.
- [7] Danfoss. (2016) Installation guide electric expansion valve type ETS 6. [En línea].  
[http://files.danfoss.com/technicalinfo/dila/01/DKRCC.PI.VD1.D7.ML\\_ETS6\\_20160518\\_sw.pdf](http://files.danfoss.com/technicalinfo/dila/01/DKRCC.PI.VD1.D7.ML_ETS6_20160518_sw.pdf)
- [8] Danfoss. ETS 6- 10. [En línea]. <http://products.danfoss.com/productdetail/refrigeration/electronically-operated-valves/ets-expansion-valves-for-fluorinated-refrigerants/ets-6/034g5005/#/>
- [9] DEGEM SYSTEMS. DAR-3300. [En línea]. <http://www.degem.info/-a-c---refrigeration2.html>
- [10] FESTO LabVolt. FESTO 3400-3. [En línea].  
[https://www.labvolt.com/solutions/4\\_refrigeration\\_and\\_hvac/80-3400-30\\_refrigeration\\_system\\_demonstrator](https://www.labvolt.com/solutions/4_refrigeration_and_hvac/80-3400-30_refrigeration_system_demonstrator)
- [11] Franco, Juan Manuel. 2012. *Manual de refrigeración*. 1ª ed. Barcelona: Reverté. 217 págs.
- [12] HEATCRAFT. (2017) Installation and operations manual. [En línea].  
<http://www.heatcraftpd.com/PDF/I&O/H-IM-CU.pdf>
- [13] HEATCRAFT. Air-cooled Condensig Units Technical Guide. [En línea] .  
<http://www.heatcraftpd.com/PDF/CC%20Tech%20Bulletins%20Folder/CC-TB-CU-AIRCOOLED-HAD-.5-6.pdf>
- [14] Méndez, Faustino. 2009. *Higiene industrial*. 9ª ed. Madrid: Lex Nova. 633 págs.
- [15] Mola, Francisco. 2013. *Instalación y puesta en marcha de aparatos de calefacción y climatización de uso doméstico*. 1ª ed. Antequera: IC editorial. 308 págs.
- [16] Ochoa, Douglas. 2008. *Instalación equipos de refrigeración industrial*. Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala. 366 págs.
- [17] Salas, Cristina y P. Fernández. 2013. *Máquinas y equipos térmicos*. 1ª ed. Madrid: Paraninfo. 206 págs.
- [18] Sanz, Félix y D. Sanz. 2014. *Control de refrigeración*. 1ª ed. Madrid: UNED. 428 págs.

- [19] WILLIAMS. Space Constrained Horizontal DX Basic. [En línea].  
<https://www.williamscomfortprod.com/product/space-constrained-horizontal-dx-basic-600-800-cfm/>
- [20] Wirz, D. 2008. *Refrigeración comercial para técnicos de aire acondicionado*. 1ª ed. Madrid: Paraninfo. 316 págs.

## IX. ANEXOS

### A. COTIZACIONES

Figura 74. Cotización de elementos básicos de un sistema de refrigeración.



Descripción de equipo:	Cantidad	Costo aproximado con Iva
Unidad condensadora Chandler CHN005X6B	1	\$ 2,230.00
Fan coil de 200 cfm con motor EC Williams	1	\$ 400.00
Válvula de expansión electrónica Danfoss ETS 6-10	1	\$ 50.00
Controlador, sensor de temperatura y sensor de presión de válvula de expansión electrónica	1	\$ 300.00
<b>Total aproximado del proyecto:</b>		<b>\$ 2,980.00</b>

Figura 75. Cotización de elementos de sujeción.

### LA CASA DEL TORNILLO S.A.

#### SUCURSALES:

Bolivar zona 8 Calle Marti	Av. Petapa Villa Nueva	Calz. Roosevelt Chimaltenango	Retalhuleu Tecún Uman
San Rafael zona 18 Terminal zona 9 Calz. San Juan	Escuintla Mazatenango	Quetzaltenango Coatepeque	
<b>PBX: 23875050</b>			

09/26/17 10:00:28

<b>Documento No.:</b>	<b>158351</b>	<b>Fecha:</b>	09/26/17
<b>Cliente:</b>	UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA	<b>Tienda:</b>	T. VIRTUAL
<b>Dirección:</b>	11 CALLE 15-79 Z.15 VISTA HERMOSA 3	<b>Fax:</b>	
<b>Tel.:</b>	3640336		
<b>Email.:</b>			
<b>Contacto:</b>	luis castañeda		

Unidades	Producto	Codigo	P. Unit.	Total
6	3/8 X 2 1/2 CAB/HEXAG. UNC GRADO 2	AHC2 3/8 2 1/2 -1	1.310000	7.860000
			1.31	<b>7.86</b>
4	3/8 X 1 1/4 CAB/HEXAG. UNC GRADO 2	AHC2 3/8 1 1/4 -1	0.630000	2.520000
			0.63	<b>2.52</b>
6	3/8 WASHA DE PRESION	W 3/8 -1 -1	0.460000	2.760000
			0.46	<b>2.76</b>
4	3/8 ROLDANA GALVANIZADA DE ANILLO S.A.E.	ROLA 3/8 -1 -1	0.680000	2.720000
			0.68	<b>2.72</b>
10	3/8 TUERCA HEXAGONAL DE SEGURO METAL UNC	TASMC 3/8 -1 -1	2.880000	28.800000
			2.88	<b>28.80</b>
<b>Total</b>				<b>44.66</b>

Figura 76. Cotización de tubería, accesorios y refrigerante.

**DISTRIBUIDORA GRANADA**  
**5A. AVE. 6-71 ZONA 9**  
**PBX. 2332-1591**

**COTIZACIÓN**

**Para:** UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

**Nit:**

**Dirección:**

**No. de Cotización:** 17173

**Fecha:** 26/09/2017

**Asesor:** TG09-Cesar Mucú

**E-mail:** cmucu@distgranada.com

**Celular:** 5521-3114

#	Código	U/M	Descripción	Cant.	Precio c/IVA	Total c/IVA
1	02.0069	TRAMO 20'	TUBO DE COBRE RIGIDO 1/2" (0.035) ACR/MED L MUELLER	1	QTZ 193.93	QTZ 193.93
2	02.0068	TRAMO 20'	TUBO DE COBRE RIGIDO 3/8" (0.030) ACR/MED L MUELLER	1	QTZ 125.96	QTZ 125.96
3	02.0237	ROLLO 50'	TUBO DE COBRE FLEXIBLE 1/4" (0.0277) UL 700PSI MUELLER	1	QTZ 170.11	QTZ 170.11
4	01.0024	UNIDAD	CODO DE COBRE SOLD DE 1/2" A 90 GRADOS	5	QTZ 3.34	QTZ 16.70
5	01.0023	UNIDAD	CODO DE COBRE SOLD DE 3/8" A 90 GRADOS	3	QTZ 2.34	QTZ 7.02
6	01.0071	UNIDAD	COPLA RECTA DE COBRE SOLD DE 1/2"	2	QTZ 2.07	QTZ 4.14
7	01.0070	UNIDAD	COPLA RECTA DE COBRE SOLD DE 3/8"	1	QTZ 1.50	QTZ 1.50
8	01.0101	UNIDAD	COPLA REDUCTORA DE COBRE SOLD DE 1/2" A 1/4"	1	QTZ 2.34	QTZ 2.34
9	01.0100	UNIDAD	COPLA REDUCTORA DE COBRE SOLD DE 3/8" A 1/4"	1	QTZ 8.10	QTZ 8.10
10	12.0023	UNIDAD	REFRIGERANTE R-407C CILINDRO 11.3KGS (25LBS) - CH	1	QTZ 582.81	QTZ 582.81
<b>Total:</b>						<b>QTZ 1,112.61</b>

**Validéz de la Oferta:** 10 días, sujeta a disponibilidad de existencias

**Forma de Pago:** Contado

**Observaciones:**

- \* Una vez recibida la mercadería a conformidad, NO se aceptan cambios ni devoluciones.
- \* En productos eléctricos NO hay garantía.
- \* Nuestros equipos cuentan con doce meses de garantía POR DESPERFECTOS DE FABRICACION. NO aplica por mal uso, mal diseño, mala instalación, falta de mantenimiento, fallas en el suministro eléctrico, entre otras.
- \* Los modelos y especificaciones están sujetos a cambios sin previo aviso debido a mejoras en los productos.

\_\_\_\_\_  
 Firma y Sello de Aceptación

## B. RENDERIZADOS CAD

Figura 77. Renderizado #1.



Figura 78. Renderizado #2.

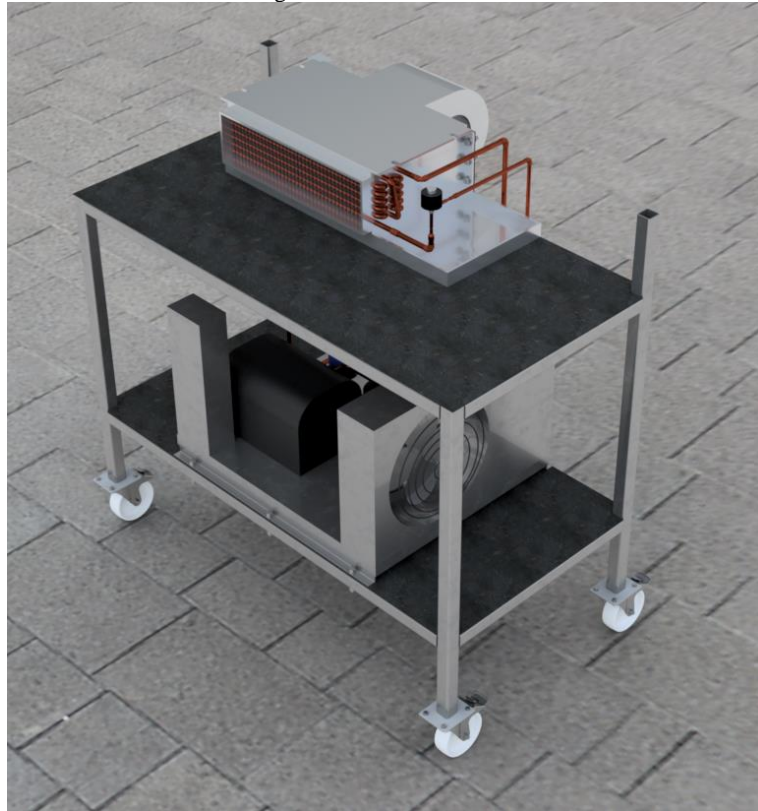


Figura 79. Renderizado #3.



Figura 80. Renderizado #4.

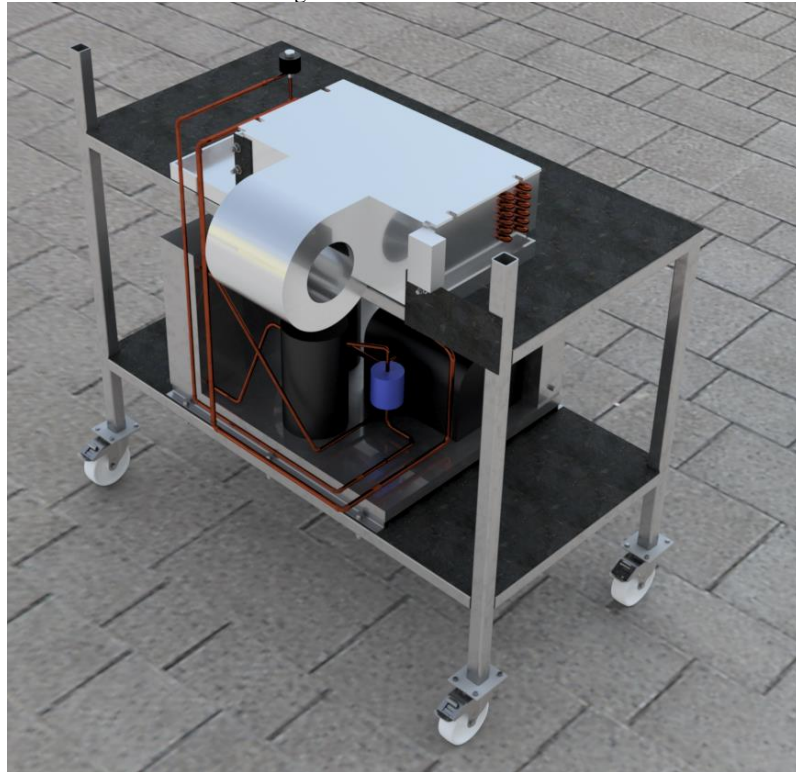




Figura 82. Plano de la sección de tubería #1.

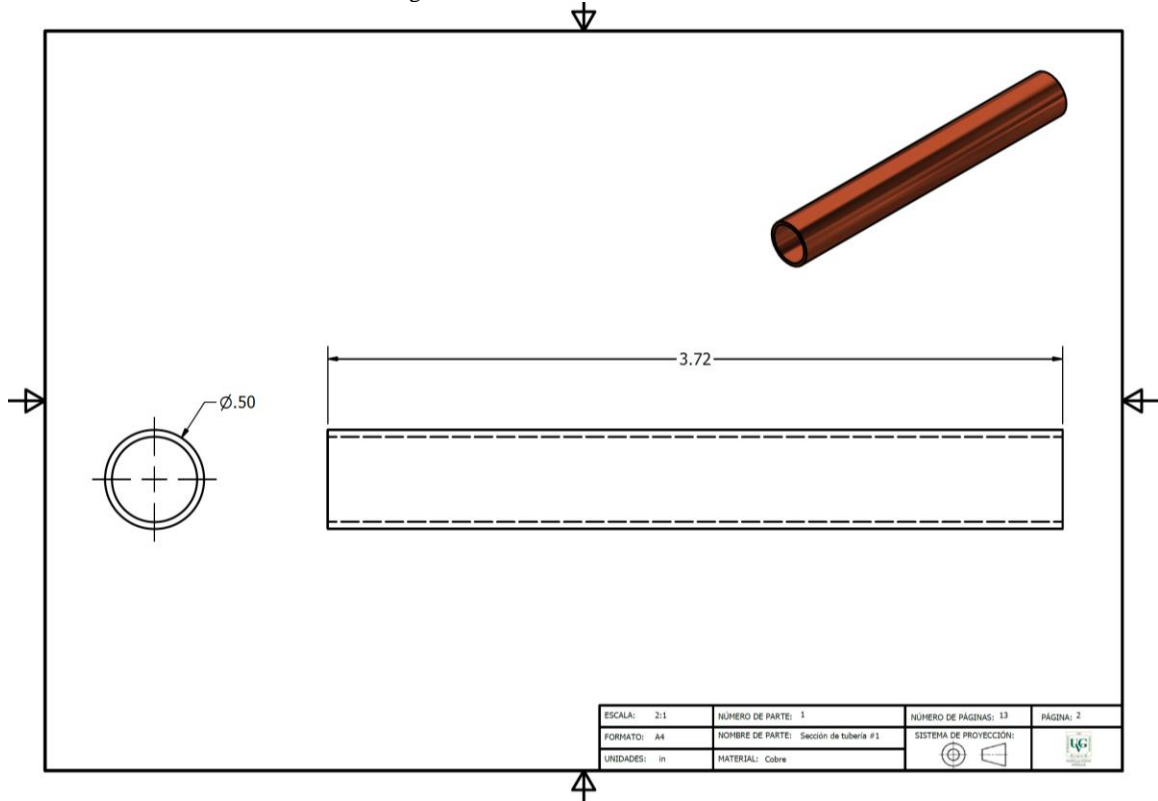


Figura 83. Plano de la sección de tubería #2.

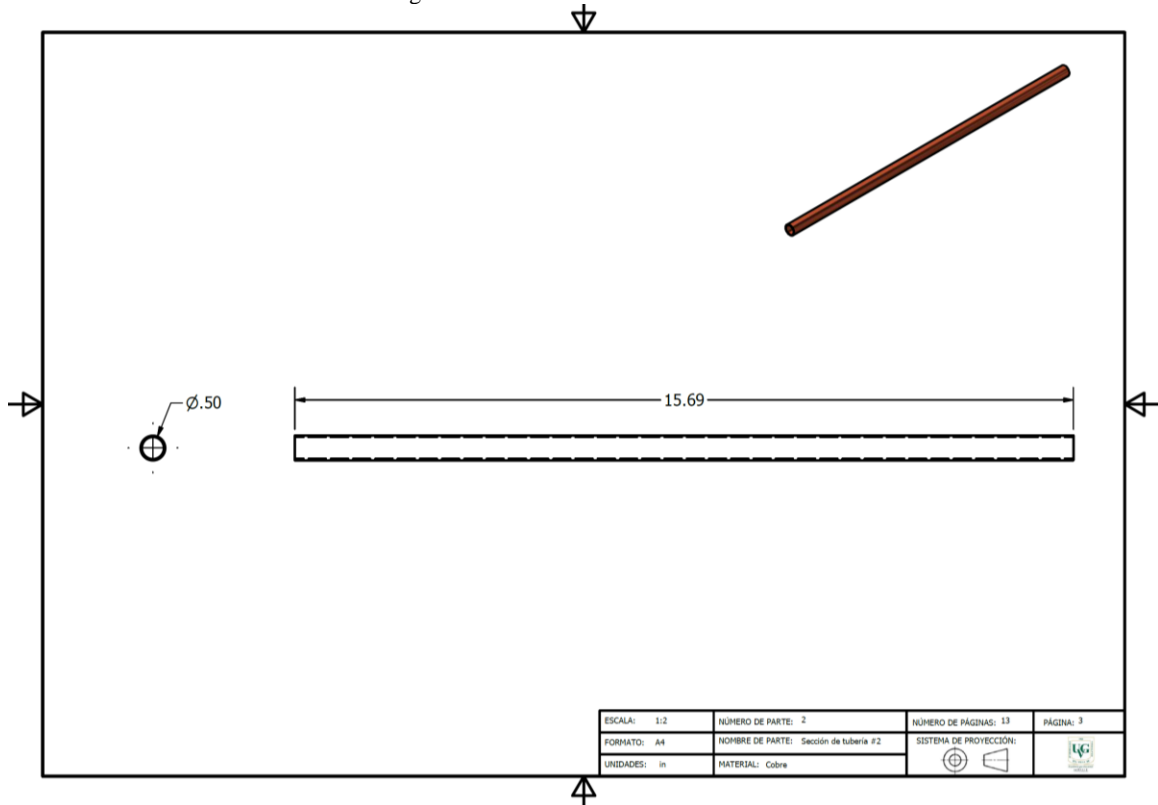


Figura 84. Plano de la sección de tubería #3.

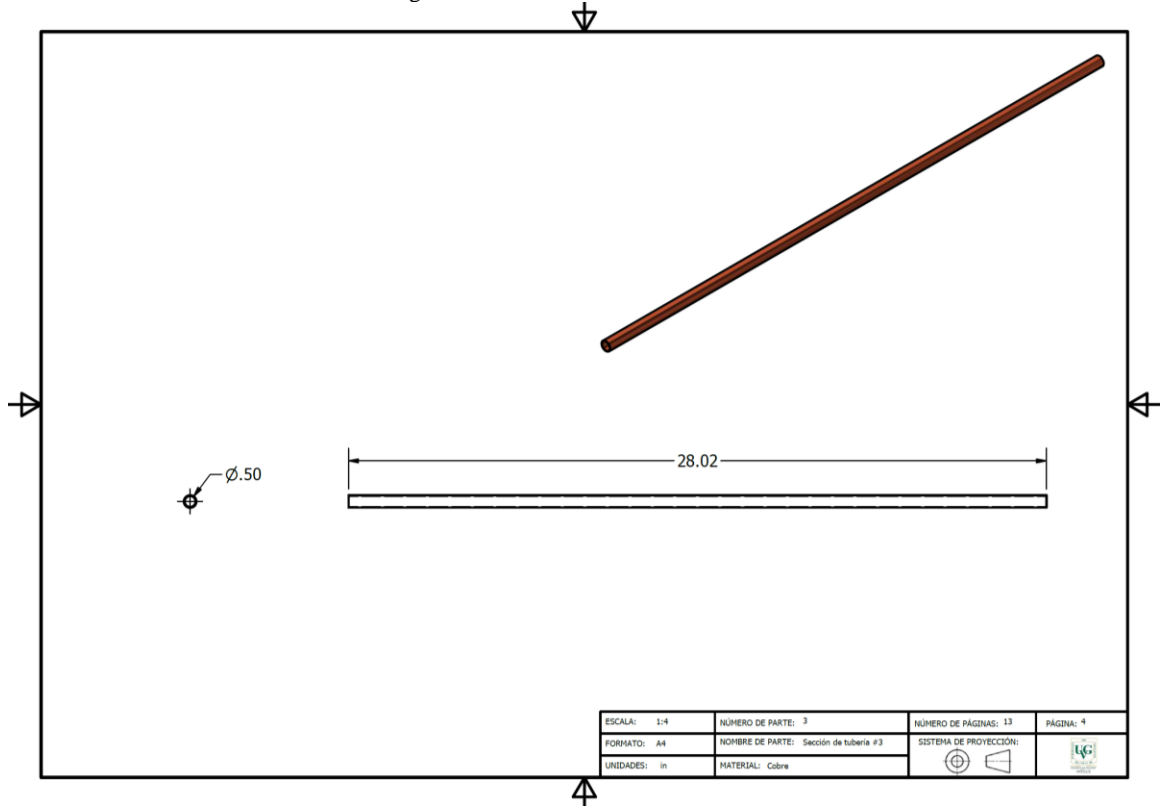


Figura 85. Plano de la sección de tubería #4.

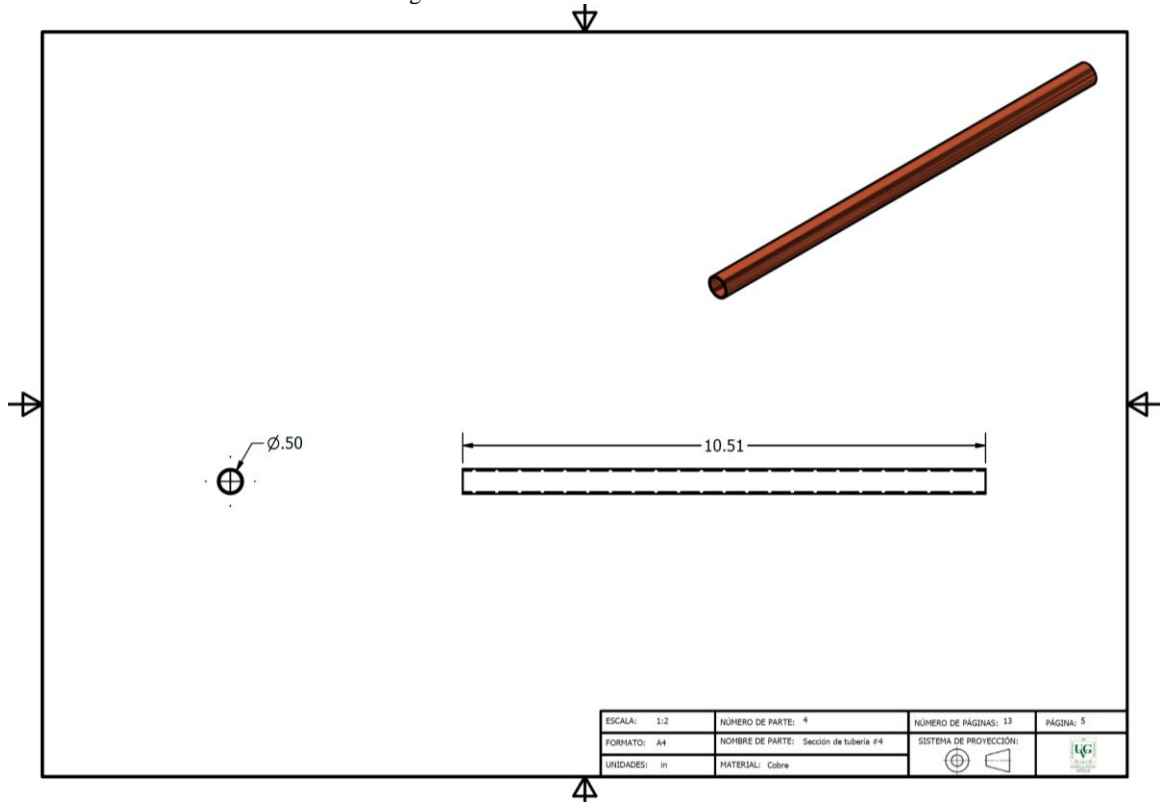


Figura 86. Plano de la sección de tubería #5.

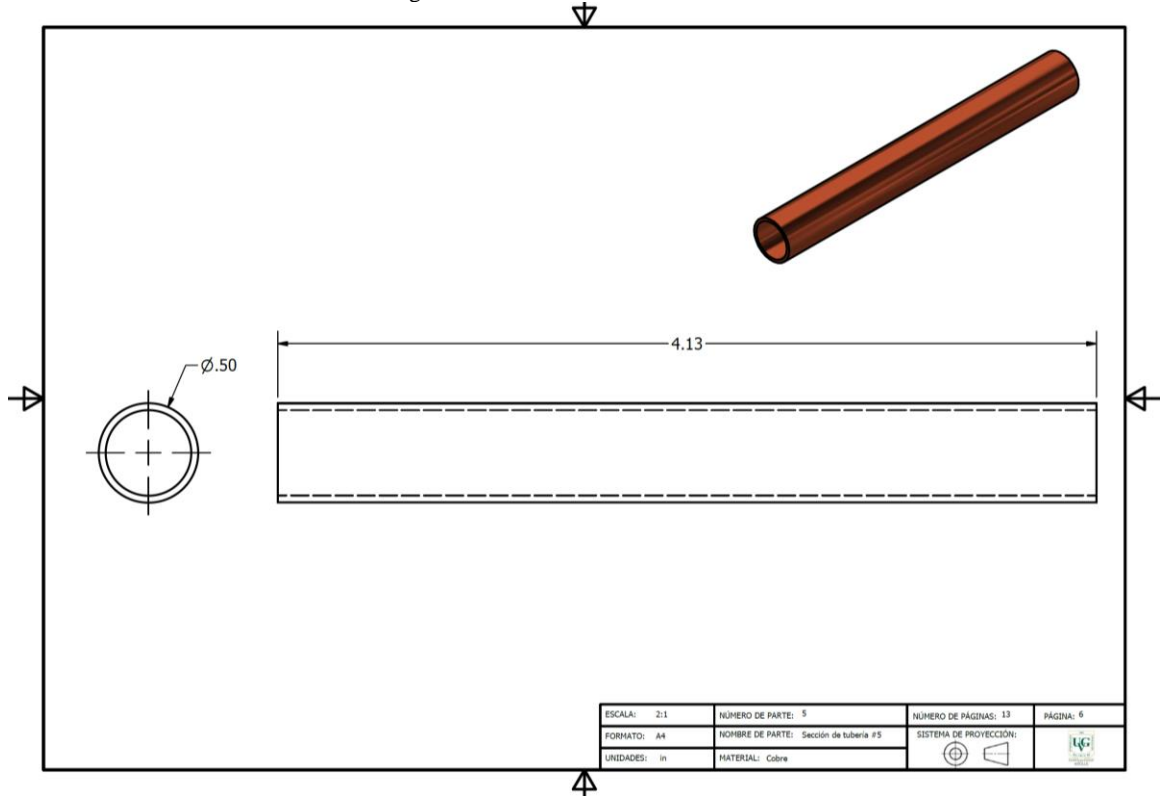


Figura 87. Plano de la sección de tubería #6.

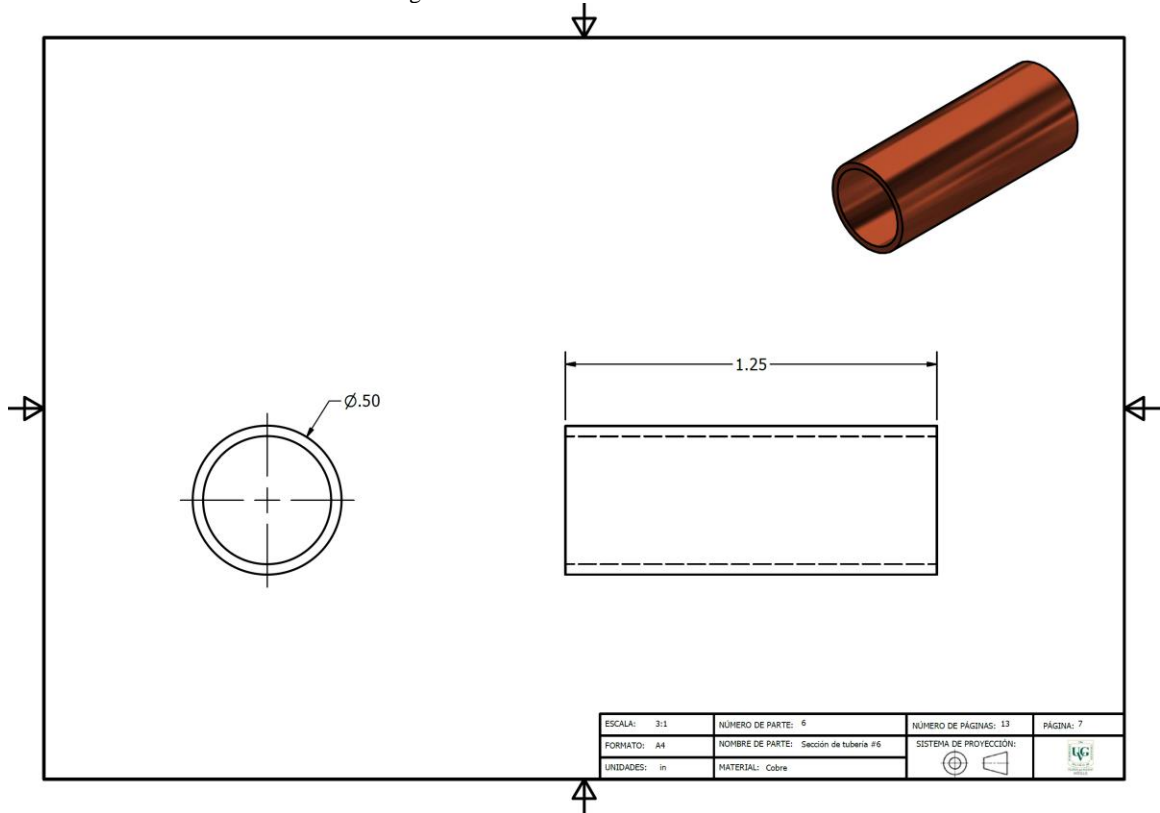


Figura 88. Plano de la sección de tubería #7.

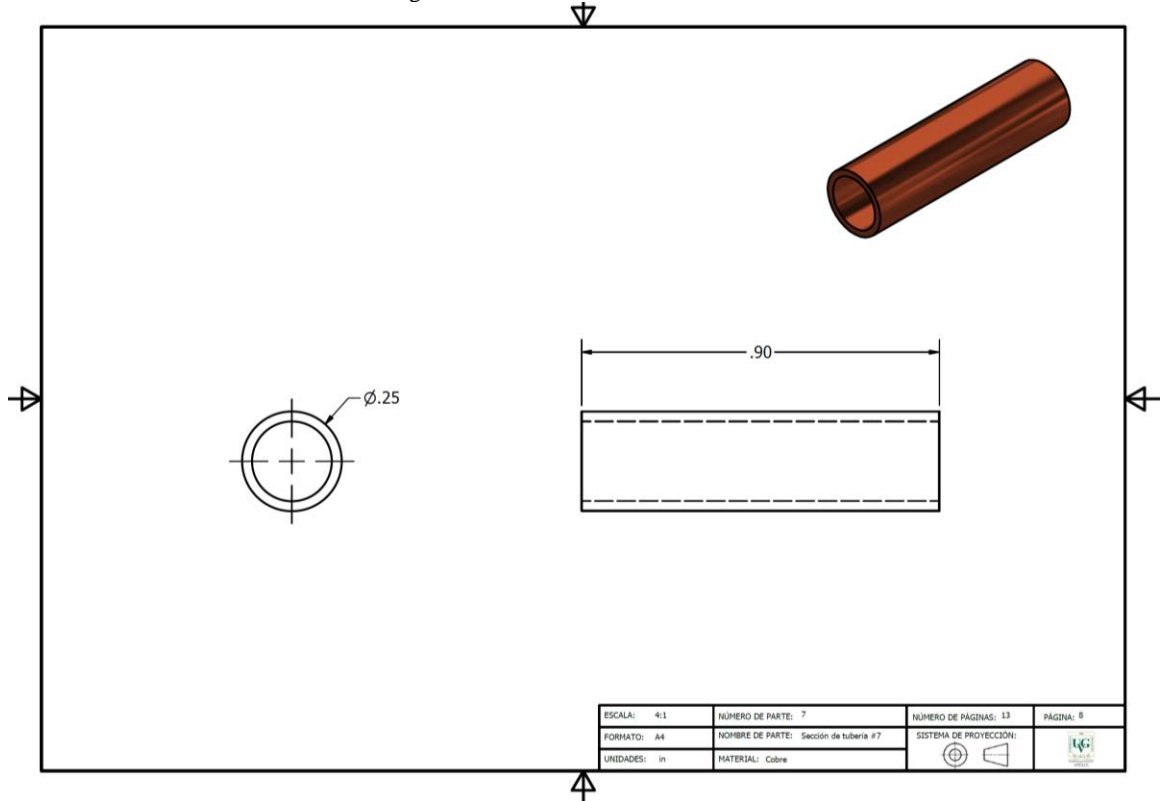


Figura 89. Plano de la sección de tubería #8.

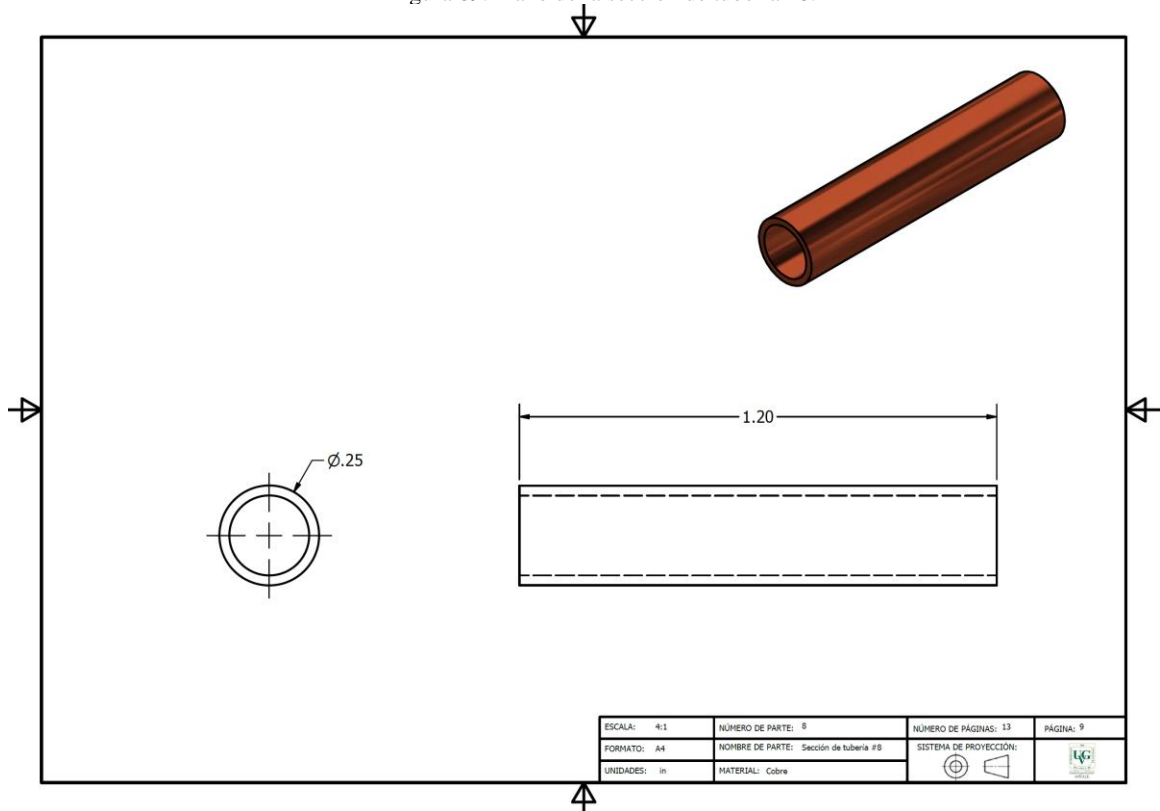


Figura 90. Plano de la sección de tubería #9.

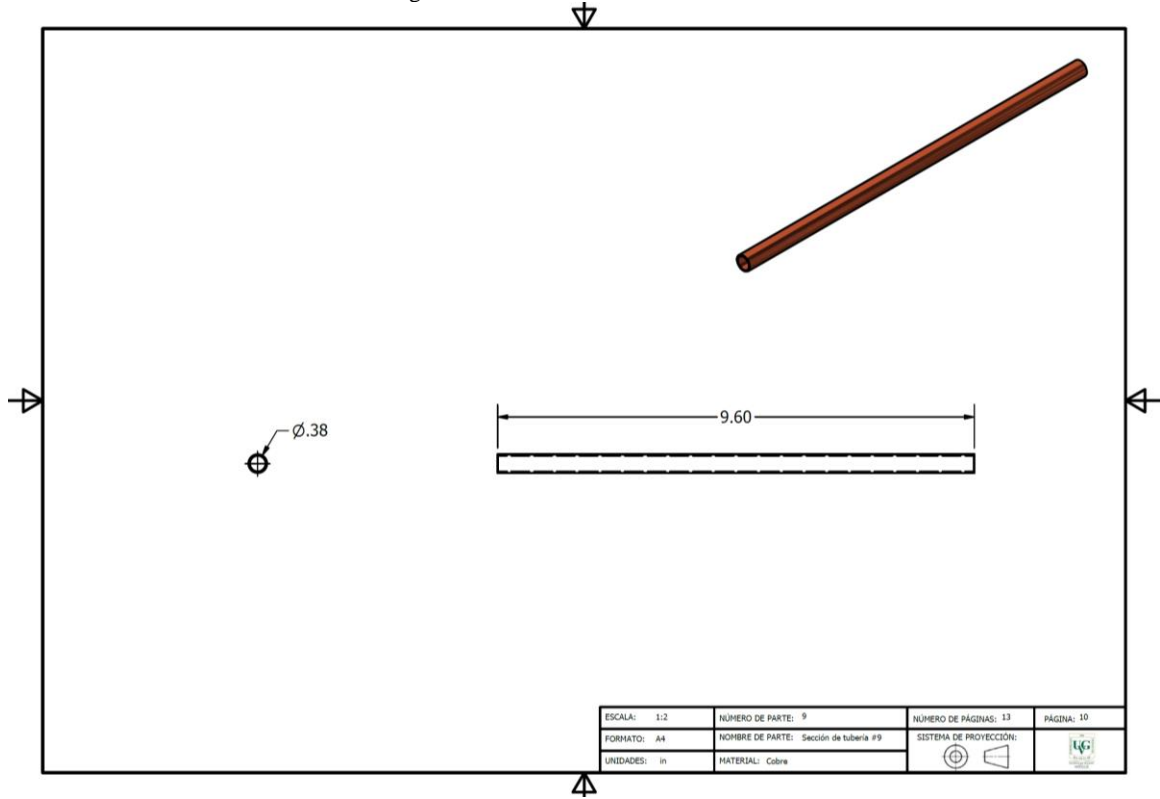


Figura 91. Plano de la sección de tubería #10.

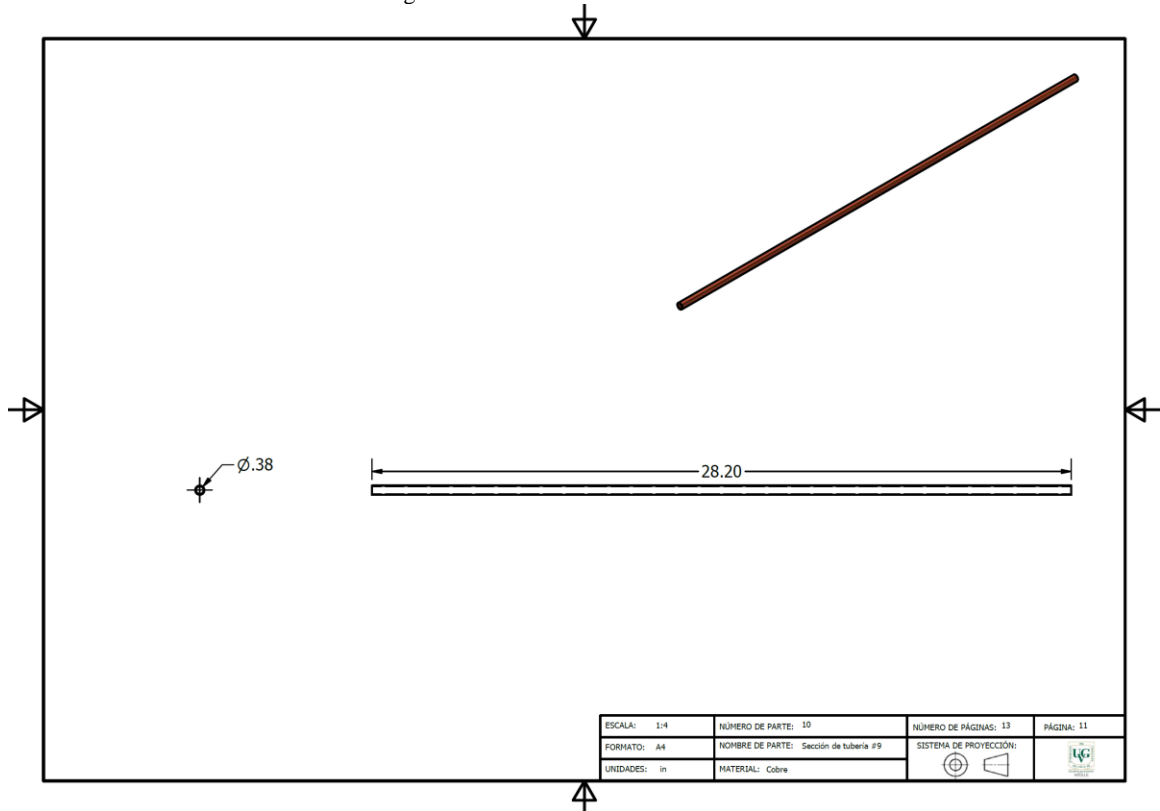


Figura 92. Plano de la sección de tubería #11.

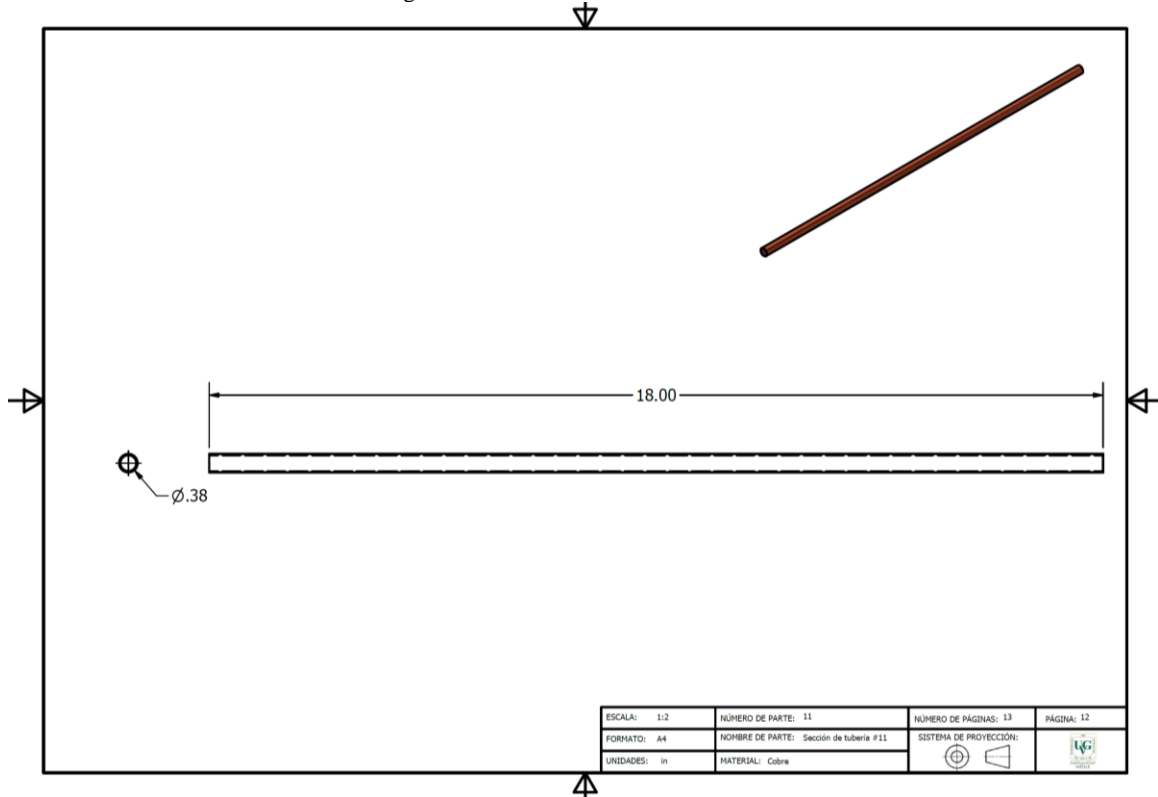


Figura 93. Plano de la sección de tubería #12.

