

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Refrigeradora de bajo costo, tercera fase: módulo de diseño,
fabricación, análisis y prueba de prototipo**

Trabajo de graduación presentado por Sergio Javier Soto Flores para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica
Industrial

Guatemala 2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Refrigeradora de bajo costo, tercera fase: módulo de diseño,
fabricación, análisis y prueba de prototipo**

Trabajo de graduación presentado por Sergio Javier Soto Flores para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica
Industrial

Guatemala, 2024

Vo.Bo.:

(f) 

Ing. Luis Diego Castañeda Fernández

Tribunal Examinador:

(f) 

Ing. Luis Diego Castañeda Fernández

(f) 

Ing. Victor Hugo Ayerdi Bardales

(f) 

Ing. Andrés Rodrigo Viau Najarro

Fecha de aprobación: Guatemala, 5 de enero de 2024.

	Lista de figuras.....	VIII
	Lista de cuadros.....	IX
	Resumen.....	XI
I	Introducción	1
II	Justificación	3
III	Objetivos	5
	A Objetivo general.....	5
	B Objetivos específicos.....	5
IV	Marco teórico	7
	A Ciclo de refrigeración.....	7
	B Componentes.....	8
	1 Compresor.....	8
	2 Condensador y evaporador.....	8
	3 Válvula de expansión.....	8
	C Refrigerantes.....	8
	D Transferencia de calor.....	9
	E Materiales.....	10
	1 Materiales externos.....	11
	2 Materiales internos.....	13
	3 Materiales aislantes.....	13
	4 Materiales conductores.....	16
	5 Sistemas de control.....	16
V	Metodología	17
	A Descripción de metodología.....	17
	B Recopilación de datos.....	18
	C Requisitos.....	19
	D Diseño preliminar.....	20

E	Cálculos	25
1	Carga térmica	25
2	Ciclo termodinámico	30
3	Selección de componentes	34
F	Manufactura	37
1	Estructura metálica	37
2	Lámina galvanizada	40
3	Aislante	41
4	Estructura interna	42
5	Construcción ciclo térmico	45
6	Ensamble final	47
VI	Resultados	49
VII	Discusión de resultados	55
VIII	Conclusiones	57
IX	Recomendaciones	59
X	Bibliografía	61
XI	Anexos	65
A	Planos	65

Lista de figuras

1	Ciclo de refrigeración por compresión de vapor	7
2	Transferencia de calor por convección	10
3	Tiempo para primer mantenimiento	12
4	Consumo de espumas de poliuretano	14
5	Conductividad térmica de Duroport (Poliestireno expandido)	14
6	Aislante térmico orgánico	15
7	Temperatura de funcionamiento prototipo anterior	18
8	Diseño general, vista isométrica	20
9	Estructura metálica, vista isométrica	21
10	Lámina metálica cuerpo, vista isométrica	22
11	Patrones planos, estructura lámina	22
12	Interior de refrigeradora, vista isométrica	23
15	Distribución componentes de sistema de refrigeración	23
13	Puerta superior	24
14	Puerta inferior	24
16	Evaporador	25
17	Componentes de ciclo de refrigeración por compresión de vapor	30
18	Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor	31
19	Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor	32
20	Equipo de protección personal para soldar	39
21	Proceso de soldadura	39
22	Acabado final estructura	40
23	Medición de lámina galvanizada para corte	40
24	Lámina galvanizada	41
25	Piezas necesarias de aislamiento	42
26	Aislamiento colocado	42
27	Fabricación de estructura interna	43
28	Sección superior	43
29	Sección inferior	44
30	Sellado de interior	44
31	Posición de ventilador	44
32	Esquema eléctrico	45

33	Corte tubería de cobre	45
34	Soldadura tubería de cobre	46
35	Prueba de vacío	46
36	Carga de refrigerante	47
37	Refrigeradora, modelo final	48
38	Parámetros de funcionamiento de ciclo de refrigeración	49
39	Colocación sensor de temperatura	50
40	Prueba de enfriamiento	50
41	Datos extraídos prueba de enfriamiento	51
42	Análisis de datos, prueba de enfriamiento	51
43	Comportamiento refrigeradora	52

Lista de cuadros

1	Identificación de códigos	19
2	Tabla de requisitos	19
3	Carga por alimentos	26
4	Carga por dispositivos eléctricos	28
5	Ganancia de calor para espuma de poliuretano, $k = 0.16 \frac{BTU \cdot in}{hr \cdot ft^2 \cdot F}$	29
6	Ganancia de calor para poliestireno expandido (Duroport), $k = 0.27 \frac{BTU \cdot in}{hr \cdot ft^2 \cdot F}$	29
7	Ganancia de calor para espuma expansiva SIKA, $k = 0.2 \frac{BTU \cdot in}{hr \cdot ft^2 \cdot F}$	29
8	Matriz de ponderación para materiales aislantes	29
9	Carga total de refrigeración	30
10	Resumen propiedades termodinámicas ciclo ideal de refrigeración	32
11	Resumen propiedades termodinámicas ciclo real de refrigeración	33
12	Costos de fabricación, ciclo térmico	53
13	Costos de fabricación, materiales de construcción	53
14	Cumplimiento de requisitos	54

Las refrigeradoras son electrodomésticos que permiten garantizar y extender la vida de los alimentos que consumimos. Actualmente solo el 48 % de la población guatemalteca tiene acceso a este dispositivo, por lo cual se presenta la necesidad de diseñar un modelo de bajo costo para la población guatemalteca.

Basado en esto se tiene el objetivo de mejorar y rediseñar un sistema de refrigeración de baja costo, el cual es un prototipo realizado en la Universidad del Valle de Guatemala. Para mejorar los sistemas ya existentes se analizó la construcción de este, así como los parámetros de operación. Utilizando la información recabada se mejorarán aspectos relacionados con carga térmica, distribución de calor, sistemas de control y materiales utilizados.

Para la mejora de dichos aspectos se realizaron simulaciones para garantizar la implementación de estas, así como la construcción de este, con una alta calidad que cumpla con parámetros de diseño de algunos dispositivos disponibles en la actualidad.

En nuestro día a día dependemos de dispositivos que aumentan nuestra calidad de vida, como lo es el caso de una refrigeradora. En el documento actual se abarca la necesidad que presentan las familias de bajos recursos en adquirir este tipo de electrodomésticos. A raíz de esta necesidad se plantea la creación de una refrigeradora de bajo costo tanto en adquisición como en operación.

Para realizar dicho proyecto se toman en cuenta las bases físicas que guían este proceso para dimensionar y diseñar un prototipo funcional que pueda ser fabricado en masa. A lo largo de este documento se presenta una guía en términos de materiales, cálculos necesarios y la implementación de mejoras a un prototipo realizado por la Universidad del Valle de Guatemala (Barillas & Martínez, 2018).

Las mejoras surgen a raíz de este prototipo, en donde se analizó los materiales empleados, métodos de fabricación y su funcionamiento. Partiendo de esto se realizaron cambios en cada una de las etapas mencionadas, donde se tuvo que investigar sobre alternativas para cada una de ellas. En este caso se investigó principalmente en la rama de materiales de fabricación y ventajas de estos.

Implementando las mejoras planteadas se logró la construcción de un dispositivo funcional el cual dispone de ventajas y desventajas en relación con modelos anteriores. Se puede destacar como resultado principal, la versatilidad del dispositivo para ser utilizado bajo condiciones más rigurosas y con mayores medidas de seguridad tanto del individuo como del dispositivo en sí. Además, se logró implementar diferentes técnicas de manufactura para el desarrollo del prototipo, empleando técnicas actuales en refrigeradoras comerciales.

Como cualquier dispositivo este siempre presenta puntos de mejora, los cuales están relacionados a control de temperatura y ubicación de dispositivos de control y reducción de la carga térmica, los cuales son desafíos que se afrontan al desarrollar una refrigeradora de bajo costo.

En la sociedad guatemalteca muchas de las familias carecen de un sistema para la conservación y preservación de alimentos de una forma correcta. Esto principalmente se debe a la falta de sistemas de refrigeración, los cuales solo están disponibles en un 48 % de los hogares guatemaltecos (INE, 2019). La raíz detrás de esto es el costo de la energía eléctrica y de dichos electrodomésticos. Esto afecta la forma de vivir de las personas al no tener la facilidad o el acceso a comida refrigerada, además de aumentar las posibilidades de descomposición y de contraer enfermedades gastrointestinales.

La importancia de realizar este proyecto va de la mano con la necesidad de almacenar productos correctamente para su conservación, así como aumentar el acceso a este electrodoméstico a los hogares de bajos recursos. De igual forma al desarrollar este proyecto se presenta una opción económica en el mercado nacional. Por esta razón se presenta la necesidad de rediseñar, aumentar la eficiencia y reducir costos de producción de refrigeradoras de bajo consumo realizadas con anterioridad en la Universidad del Valle de Guatemala (ECOFRIGO18), con el objetivo de disminuir los costos de operación, mejorar la manufactura y funcionalidad del sistema (Barillas & Martínez, 2018).

Estudios y proyectos realizados en la Universidad del Valle de Guatemala en torno al diseño de refrigeradores de baja potencia, nos permiten optimizar diseños anteriores. Las posibles mejoras están relacionadas con problemas de transferencia de calor, materiales empleados y sistemas de control utilizados en estos prototipos, por lo cual se considera posible realizar mejoras a dichos modelos.

Asimismo, la incorporación de mejoras tanto de sistema cómo de construcción presenta ciertas ventajas en la actualidad. Estas se deben a la disponibilidad de accesorios y materiales en el mercado nacional, lo cual permite la aplicación de las mismas.

A. Objetivo general

Rediseñar y optimizar prototipo de refrigerador de bajo costo (ECOFRIGO18), con enfoque en materiales y manufactura.

B. Objetivos específicos

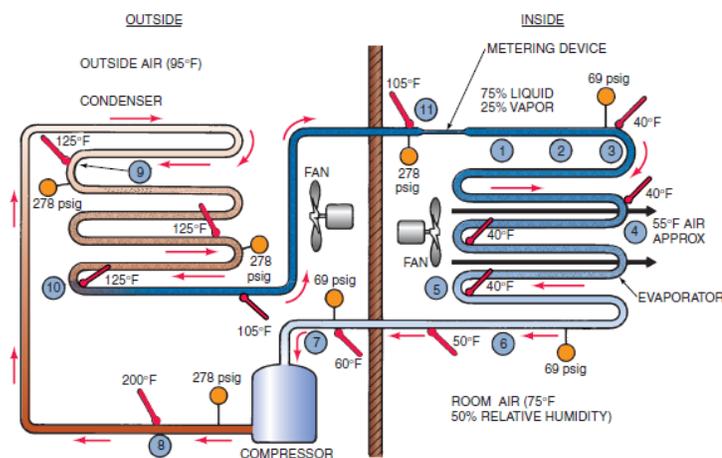
1. Disminuir la carga térmica del sistema al reducir la infiltración de calor al espacio refrigerado.
2. Garantizar la homogeneidad de temperatura en toda el área refrigerada para un correcto almacenamiento de productos.
3. Incorporar un sistema de control para interacción con el usuario, así como para ahorros de energía en sistemas automatizados.
4. Seleccionar los materiales enfocado en el desarrollo de una línea de producción.
5. Fabricar la refrigeradora y realizar pruebas de funcionamiento.

A. Ciclo de refrigeración

Con el objetivo de lograr la conservación de los alimentos, se tiene que extraer el calor de un espacio, esto se logra a través de disminuir la temperatura interna. Para lograr esto se recurre a un ciclo de refrigeración, el cual será el encargado de intercambiar calor entre dos reservorios de calor, un sumidero de alta temperatura y una fuente de baja temperatura.

En las refrigeradoras actuales se emplea el ciclo de refrigeración por compresión de vapor. Este es un método en donde un fluido, en este caso refrigerante, cambia sus propiedades a través de 4 componentes principales. Los dispositivos necesarios para el funcionamiento están conformados por un compresor, un condensador, una válvula de expansión y un evaporador.

Figura 1: Ciclo de refrigeración por compresión de vapor



Fuente: Adaptado de *Refrigeration & air conditioning technology* (p. 53), 2013, Cengage Learning, Figura 3.38

Para determinar el ciclo de refrigeración a construir se deben conocer ciertos parámetros de diseño, cómo lo es la temperatura del espacio refrigerado, la temperatura ambiente y la carga térmica.

El compresor es el encargado de aumentar la presión del refrigerante y de forma indirecta su temperatura. A raíz de esto el vapor ingresa al condensador el cual tiene contacto con el ambiente y debido a la diferencia de temperaturas se rechaza calor al exterior. Luego el vapor se estrangula en la válvula de expansión, la cual genera una caída de presión y temperatura, para después pasar por el evaporador el cual extrae el calor del espacio refrigerado. Cabe destacar que se recomienda una diferencia de temperatura de al menos 10°C (18°F) en el condensador y evaporador para lograr transferencias de calor. (Whitman et al., 2013)

B. Componentes

1. Compresor

El compresor es el elemento encargado de suministrar la energía necesaria al sistema, esta energía se transforma en calor y un aumento en la presión del refrigerante. Cabe destacar que este componente puede variar según la función que vaya a realizar. Principalmente se presentan las siguientes clasificaciones de compresor. LBP (Low back pressure): son compresores utilizados típicamente en congeladores y refrigeradores convencionales. Debido a los usos recomendados operan para temperaturas de -35°C a -10°C . MBP (Medium back pressure): Compresores utilizados en mostradores comerciales y enfriadores de bebidas, comúnmente a temperaturas de -35°C a -5°C . HBP (High back pressure): Tipo de compresores de baja temperatura utilizados en deshumidificadores y sistemas de aire acondicionado, con temperaturas entre -5°C y 15°C (Embraco, 2016).

2. Condensador y evaporador

Estos componentes operan bajo el mismo principio de funcionamiento, el cual es el intercambio de calor. La diferencia radica en su posición del ciclo, el cual altera los valores de funcionamiento siendo estos valores su mecanismo en el funcionamiento. En cuanto al condensador este es el encargado de disipar el calor extraído en el medio ambiente. El caso contrario es el evaporador, el cual extrae el calor del espacio que se desea enfriar.

La selección de estos componentes se da por potencia, la cual es definida por los vendedores e indica la transferencia de calor que estos dispositivos pueden lograr.

3. Válvula de expansión

Componente que restringe el paso del refrigerante, esto produce una caída abrupta en la presión del refrigerante, lo cual provoca una caída de temperatura del mismo. La selección de este componente se realiza con tablas las cuales indican el diámetro necesario así como la longitud de este tramo de tubería para lograr la caída de presión deseada. (Tecumseh, 2012)

C. Refrigerantes

Para la selección del refrigerante, el cual será el encargado de realizar el ciclo de refrigeración, hay varios factores por considerar. Uno de los factores más importantes es la toxicidad del mismo, ya que hay refrigerantes que pueden producir efectos negativos sobre

los individuos al momento de presentarse fuga, como lo es el caso del amoníaco. Otro de los factores de importancia es su punto de ebullición ya que a más bajo su punto de ebullición a presión atmosférica se pueden alcanzar temperaturas de refrigeración más bajas.

Además de estos factores de funcionamiento, actualmente se toma en cuenta el factor de contaminación ya que los refrigerantes que se basan en Hidrofluorocarburos (HCFC) favorecen al deterioro de la capa de ozono, lo cual genera una preocupación sobre el calentamiento global. (United States Environmental Protection Agency, 2022)

Algunos de los refrigerantes más utilizados en la actualidad son los siguientes:

- **R134-a:** es un refrigerante utilizado para sistemas de refrigeración domésticos de media a alta temperatura. Además es un refrigerante que no daña a la capa de ozono, no es inflamable y es poco tóxico para los individuos. La desventaja de este refrigerante es su compatibilidad con ciertos aceites lubricantes. (Chemours, 2015)
- **Amoníaco:** Es un refrigerante utilizado para sistemas industriales en donde se requieran temperatura media - bajas, cabe destacar que este refrigerante no presenta daño a la capa de ozono pero su inhalación puede ser tóxico para los individuos además de ser un equipo más caro.
- **R410-a:** Es un refrigerante actual que vino para sustituir al R22, (United States Environmental Protection Agency, 2021) esto debido al poco impacto que presenta sobre la capa de ozono así como su eficiencia alta a bajas temperaturas. Además no es inflamable y su toxicidad es baja para inhalación. (Chemours, 2016)

D. Transferencia de calor

La transferencia de calor es el principio físico por el cual se explica el cambio de la temperatura de un sistema, este flujo de calor siempre ocurre de un sistema con mayor energía, de mayor temperatura, a un sistema de menor energía. Esto siempre utilizando como base la primera ley de la termodinámica. La cual estipula que la energía de un sistema nunca se destruye solo se transforma, y que las interacciones de calor y trabajo nos dan como resultado un cambio en la energía interna del sistema. (Lienhard, 2020)

$$Q = W + \frac{dU}{dt} \quad (1)$$

Cabe destacar que el calor se puede transportar a través de 3 diferentes mecanismos, los cuales son conducción, convección y radiación. En nuestro caso nos enfocaremos en dos mecanismos los cuales otorgan la mayoría de carga estipulada para una refrigeradora. Estos mecanismos son conducción y convección.

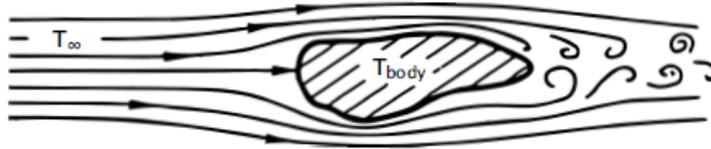
- **Transferencia a través de conducción:** La conducción está basada en la ley de Fourier la cual estipula que la conducción de calor es proporcional a la diferencia de temperatura y opuesta a su signo. Es decir, la diferencia de temperatura entre dos superficies depende de la conductividad térmica del material k (dimensiones $W/m^{\circ}K$,

$J/s * m * ^\circ K$ o $BTU/h * ft * ^\circ F$), el gradiente de temperaturas y un diferencial de distancia. Por lo cual el calor específico se expresa de la siguiente manera [2]

$$q = -k * \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2)$$

- Transferencia de calor por convección:** La convección es un proceso físico explicado por la ley de enfriamiento de Newton, en donde se requiere de dos elementos, un fluido y un sólido. Para lograr transferencia de calor a través de este mecanismo el fluido presenta un efecto de capa límite donde su velocidad es cercana a cero, esta capa es la encargada de la primera interacción entre los dos elementos y las temperaturas de estos. A partir de esta capa se logra una mezcla entre los fluidos circundantes.

Figura 2: Transferencia de calor por convección



Fuente: Adaptado de *A heat transfer textbook* (p. 19), 2020, The convective cooling of a heated body

La convección se expresa basado en las siguientes variables. Temperatura del fluido circundante T_∞ , temperatura superficial del cuerpo sólido T_{body} y el coeficiente de transferencia de calor, el cual se denomina como h y tiene dimensionales $W/m^2 * ^\circ K$ o $J/s * m^2 * ^\circ K$. La expresión completa queda de la siguiente manera [3]

$$q = \bar{h}(T_{body} - T_\infty) \quad (3)$$

Cabe destacar que en muchos de los valores actuales el valor h ya considera transferencia de calor a través de radiación y convección.

Tomando en cuenta los mecanismos ya antes explicados, se observa que la transferencia de calor depende de h y k , las cuales son dos propiedades térmicas de los materiales. Basado en estas propiedades se les asigna una aplicación diferente, las cuales son maximizar la transferencia de calor, materiales conductores, o minimizar la transferencia, materiales aisladores.

E. Materiales

Un equipo complejo como lo es una refrigeradora presenta diferentes familias de materiales, por lo cual para optimizar y garantizar su correcto funcionamiento, se debe tener una cuidadosa selección de estos. Debido a esto se desglosan los materiales según su función y área de operación. En cuanto a su área de operación nos encontramos con el espacio refrigerado, sistema de refrigeración, exterior y aislamiento, en las cuales se tiene diferentes condiciones de trabajo y propiedades deseadas.

Además de esto se debe tener en cuenta ciertas normas y/o estándares internacionales o locales relacionados a los materiales, esto debido a su posible contacto ya sea directo o indirecto con los alimentos y la contaminación que dichos materiales puede representar en la seguridad de la conservación de alimentos.

1. Materiales externos

Los materiales externos serán los que presenten mayor interacción con los usuarios y el ambiente general, por lo cual debe ser un material resistente a golpes accidentales así como a las condiciones ambientales. En las refrigeradoras actuales los materiales más utilizados para el exterior son el acero inoxidable, acero galvanizado y acero galvanizado laminado en PVC.

Acero inoxidable

Este tipo de acero está normalizado para poder ser utilizado a un grado alimenticio y esto se debe a sus atributos. Cabe destacar que hay una gran variedad de clases en relación al acero inoxidable, aunque el más utilizado en la industria es el acero AISI 304. Su característica principal es la resistencia a la corrosión tanto en condiciones ambientales, así como en el contacto directo de alimentos. Además es un material el cual cumple con las regulaciones Europeas (EC 1934/2004), las cuales estipulan que el material no debe contaminar a los productos alimenticios a tal grado de causar posibles problemas de salud. (Euro inox, 2006)

En cuanto a su resistencia es un material que está recubierto de una capa de óxido de cromo del 10%, el cual brinda protección al oxígeno y al vapor de agua, de igual manera esta capa tiene una característica especial la cual se regenera al eliminar el contaminante de la superficie.

Otra de las características importantes del acero inoxidable, es su resistencia a temperaturas, tanto altas como bajas. En el caso de sistemas de refrigeración domésticos se tiene contacto con temperaturas de hasta -25°F . Por lo cual se encuentran en el rango de -40 a 700°F , donde las propiedades mecánicas de este acero no se ven alteradas. (American Iron and Steel Institute, 2020)

De igual manera este acero inoxidable es de fácil maquinabilidad y no requiere de algún tipo de herramienta especializada para la realización de cavidades o cortes. De igual forma este materiales es dúctil al momento de generar dobleces. (HARSLE, 2019)

Acero galvanizado

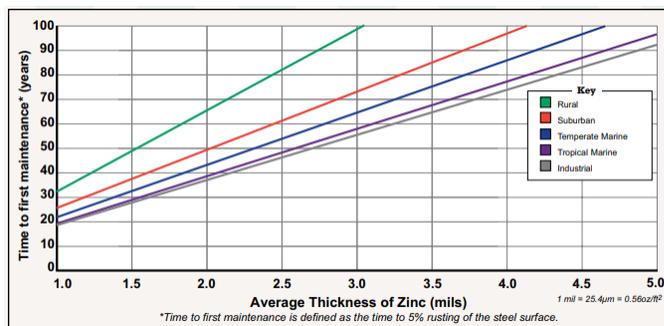
El acero galvanizado es un material con un amplio rango de operación y esto se debe a sus propiedades tanto mecánicas como físicas, en las cuales resalta su resistencia a la corrosión. Cabe destacar que un acero galvanizado es el resultado de tomar un acero base y recubrirlo en zinc de hasta 99% de pureza. Este recubrimiento puede ser modificado dependiendo el campo de aplicación así como las condiciones ambientales.

Las propiedades pueden ser modificadas a través de dos variables, el grado de acero base y el recubrimiento utilizado. La selección del grado de acero dependerá de las propiedades mecánicas y la maquinabilidad que se requiere según sea el caso. El recubrimiento está enfocado en la preservación del material según las condiciones ambientales a las cuales se expone el material.

Algunas de las normas que rigen la calidad del material son ASTM A123, A153 y A767 de igual forma se aplican las especificaciones CSA G 164 e ISO 1461. Estas normas regulan el grosor de recubrimiento y las aleaciones empleadas en el mismo. Tomando en cuenta dichas normas se tiene un parámetro de selección de grosor de recubrimiento y una duración aproximada de dicho material, como se observa en la Figura 3 (American Galvanizers Association, 2011)

En cuanto a la selección de acero base este puede encontrarse desde acero estructural hasta manufactura básica. El acero base es un parámetro de selección hacia los distribuidores los cuales ofrecen grados de aceros según su disponibilidad. Algunos de los acero estructurales más utilizados son S220GD - S550GD, de igual forma se tienen grados de acero de gran flexibilidad y maquinabilidad como los grados DX51D, DX52D, DX53D, DX54D, DX55D, DX56D, DX57D. (Metinvest, s.f.)

Figura 3: Tiempo para primer mantenimiento



Fuente: Adaptado de *Zinc coatings* (p. 3), 2011, American Galvanizers Association

Algunas de las desventajas del acero galvanizado es su baja resistencia hacia compuestos ácidos. Según la FDA el acero galvanizado de grado alimenticio puede ser utilizado siempre y cuando no tenga contacto directo con comidas ácidas. (Food and Drug Administration, 2013) De igual forma el galvanizado aplicado no debe contener aluminio, se permite el uso de cromo, níquel, estaño y zinc. (Department of Agriculture and Consumer Services, 2012)

Acero galvanizado laminado

El acero galvanizado laminado es un material el cual consta de varias capas que la protegen del medio ambiente y extienden su ciclo de vida. Este laminado puede ser de cloruro de polivinilo (PVC) o tereftalato de polietileno (PET). La selección del laminado depende de donde se utilizará dicho material. Algunas aplicaciones comunes son paneles para puertas y elevadores, electrodomésticos, techos y decoración.

En cuanto a la construcción del panel, este consta de un acero base el cual puede ser electro galvanizado, galvanizado en caliente, plancha de aluminio y acero inoxidable. Además presenta una capa adhesiva, el laminado a elección y una capa protectora. (Lien Chy metal, s.f.-a)

Cabe destacar que si bien el laminado PVC tiene uso en electrodomésticos tales como refrigeradoras y puede estar en contacto indirecto con alimentos. El material ideal para planchas de productos alimenticios o de contacto directo con alimentos es el PET, esto tomando

en cuenta las regulaciones establecidas por la FDA en CFR 177.1630. (National Archives and Records Administration, [2021](#))

Algo a resaltar es que esta capa laminada es un elemento extra pero no modifica las propiedades originales del acero base. Por lo cual se pueden aplicar técnicas de manufactura para dichos aceros. Además los fabricantes garantizan que la capa laminada no se romperá al ser expuesta a dobleces. (Lien Chy metal, [s.f.-b](#))

2. Materiales internos

Poliestireno de alto impacto

Es un material a base de poliestireno al cual se modifica con el objetivo de lograr un material resistente a los impactos y mejores propiedades mecánicas. (Curbell plastics, [2022](#)) Este es ampliamente utilizado en electrodomésticos, juguetes, almacenes y prototipos. Según la FDA este material puede ser utilizado para contacto directo con alimentos al tener un tratamiento antibacteriano y para ciertos productos. (U.S. Food and Drug Administration (FDA), [2015](#))

Algunas de las ventajas de este material es la facilidad de manufactura, ya que es un material termoformable, de igual forma este puede presentar facilidad de construcción al solo requerir pegamentos acrílicos para su unión. Además es un material que se puede trabajar en ambientes húmedos al ser impermeable. (Epsotech, [2019](#))

En cuanto a las desventajas de este material es su resistencia química, por lo cual se debe prestar especial atención a los limpiadores a utilizar. En dado caso se utilice cloro para su limpieza este se deformará, se recomienda el uso de un paño con agua para su limpieza general. (Traco manufacturing, [2022](#))

3. Materiales aislantes

Los materiales aislantes son los encargados de disminuir la transferencia de calor a través de conducción y convección. Por este motivo la selección del mismo tiene que ir acompañada de las ventajas y desventajas que cada uno presenta. Cabe destacar que los materiales aislantes tienden a ser menos efectivos al momento de absorber humedad.

Espumas poliméricas

Las espumas poliméricas son un grupo de espumas que se forman a partir de polímeros. Este material consiste, de una fase sólida y una gaseosa. Este tipo de espumas tienen un amplio rango de operación, el cual va desde construcciones hasta electrodomésticos. Cabe destacar que estas espumas resaltan en la actualidad por sus propiedades aislantes, tanto térmicas como sonoras.

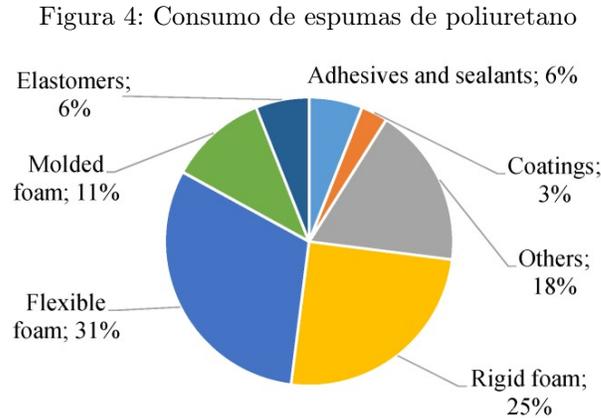
En cuanto al uso actual de espumas poliméricas, resalta la espuma de poliuretano (PU), la cual es la utilizada como aislante térmico para hogares, así como para sistemas de refrigeración y esto se debe a su baja conductividad térmica, la cual se presenta en un rango de $0.020 - 0.050 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ a 10°C (Federation of European Rigid polyurethane Foam association, [2006](#))

Una variable a considerar debido a la versatilidad que presenta este material es la densidad, ya que esta modifica las propiedades térmicas. Para uso directamente de aislamiento

térmico se recomienda el uso de espumas de baja densidad. Esta suele variar entre 30 a 45 kg/m^3 aunque la disponibilidad del mercado puede llegar hasta 100 kg/m^3 .

Otra de las variables que pueden modificar las propiedades térmicas es la humedad en el ambiente, ya que de esta forma el material absorbe el condensado y aumenta su conductividad térmica.

Además de las propiedades ya mencionadas las espumas poliméricas tienen una variedad de presentaciones. Las presentaciones se distribuyen de la siguiente manera, estos siendo datos del año 2016.

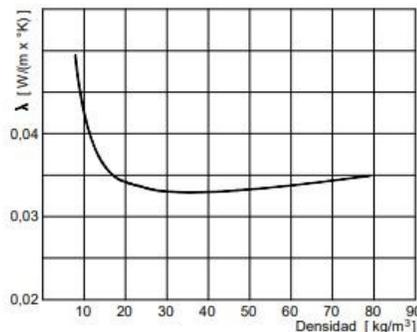


Fuente: Adaptado de *Polyurethane Foams: Past, Present, and Future* (Fig. 1), 2018, PubMed Central.

Poliestireno expandido

Este tipo de espuma es un material el cual está constituido por 2% de poliestireno y 98% aire, esto lo hace un material que posee propiedades de aislamiento térmico. Estas propiedades térmicas fluctúan principalmente a las relaciones entre aire y poliestireno, lo cual constituye su densidad. A continuación se presenta una imagen donde se puede observar el comportamiento de la conductividad térmica en relación a su densidad. (Modopack, 2020)

Figura 5: Conductividad térmica de Duroport (Poliestireno expandido)



Fuente: Adaptado de *Especificaciones técnicas de poliestireno expandido* (Fig. 1), 2020, Modopack.

Aerogel de Silicio impregnado con fieltro oxidado

El aerogel de Silicio es un material híbrido orgánico - inorgánico de estado sólido poroso, con una densidad super baja que se presenta en un rango de $0.4 - 0.004 \text{ g/cm}^3$. La composición del aerogel es de hasta 95 % de aire y el restante es una estructura capilar de Silicio o sustancias orgánicas. Cabe destacar que el aerogel debe ser modificado para reconstituir sus propiedades debido a la presencia del Silicio el cual es un material con alta sensibilidad a la humedad. Uno de los compuestos que realiza esta reconstitución es el metiltrimetoxisilano. (Roig, 2008)

En cuanto a las ventajas de este material, se encuentra su baja conductividad térmica, la cual se puede llegar a ser de hasta 0.025 W/mK . De igual forma presenta una alta flexibilidad y resistencia a los golpes. Además este material presenta la propiedad de impermeabilidad, lo cual lo hace ideal para condiciones húmedas de trabajo. (Tanchain, s.f.)

Aislamiento orgánico

Este aislamiento se diseñó y probó en la Universidad Tecnológica de Panamá. Este se compone de 3 materias orgánicas, las cuales son cascarilla de arroz, palma pita y yuca. En cuanto a los resultados obtenidos de diferentes proporciones de materiales se obtuvo que la mejor relación fue 66 % cascarilla de arroz y 34 % almidón, en donde se calculó un valor k de 0.0262 W/mK .

Al ser un valor experimental este puede variar según el método de integración de los materiales, aunque presenta la ventaja de ser un material 100 % orgánico lo cual lo hace amigable con el medio ambiente. En cuanto a las desventajas observables se tiene que es un material rígido lo cual dificulta su incorporación a un sistema de refrigeración ya que se requieren moldes para su realización. Además se carece de información sobre su comportamiento al contacto con humedad o de sus propiedades de impermeabilidad. (Rivas et al., 2018)

Figura 6: Aislante térmico orgánico



Fuente: Adaptado de *Aislante térmico a base de materiales orgánicos* (pag. 4), 2018, Global consumption of polyurethane (PU) in 2016

4. Materiales conductores

Los materiales conductores se utilizan en aplicaciones tales como refrigeradores, disipadores de calor y microcontroladores. Estos tienen el objetivo de lograr un intercambio de calor eficiente entre dos o más elementos y esto se logra gracias a su elevada conductividad térmica. Un ejemplo de esto es el caso del cobre, el cual puede llegar hasta $385 \text{ W/m}^2\text{K}$. Siendo catalogado como uno de los mejores conductores metálicos, el cual es ampliamente utilizado en las industrias ya mencionadas. Además de ser el material más utilizado en disipadores de calor, evaporadores y condensadores.

5. Sistemas de control

Un electrodoméstico de refrigeración debe tener ciertos elementos de control que permitan hacer más eficiente su funcionamiento, para esto recurrimos a sistemas de control básicos como lo es un termostato.

Un termostato es un sistema electrónico que realiza dos funciones, la primera función es determinar la temperatura del espacio refrigerado y verificar que esta se encuentre dentro del rango especificado. La segunda función es activar o desactivar el compresor del ciclo de refrigeración a través de cerrar el circuito eléctrico basado en su lectura previa. Gracias a este sistema se presentan ahorros en el costo de funcionamiento de la refrigeradora, ya que la potencia demandada se ve limitada por el termostato.

Cabe destacar que este sistema, nos posibilita variar el rango de operación de nuestro ciclo según se especifique y/o necesite, lo cual permite que la refrigeradora sea versátil y puede ser empleada a diferentes temperaturas según se requiera. Por último este sistema también puede controlar sistemas auxiliares como lo puede ser un ventilador, el cual nos favorece para aumentar la transferencia de calor y una mayor uniformidad de temperatura en todo el espacio refrigerado.

A. Descripción de metodología

El proyecto en sí, se dividió en 6 etapas principales. Estas etapas delimitan los pasos a seguir y un orden para poder obtener los resultados deseados. La primera etapa consistió en la búsqueda de antecedentes. Esta etapa se concentró en la investigación de tecnologías actuales empleadas en sistemas de refrigeración. Así mismo, se investigó sobre los prototipos y proyectos realizados con anterioridad en relación a refrigeradoras de bajo costo. Esto permitió tener un punto de partida, considerando materiales y parámetros utilizados para la realización de cada uno de los proyectos. De igual manera esto ayudó a visualizar puntos de mejora y necesidades que se deben implementar en nuestro diseño.

La segunda etapa tenía como objetivo plantear de una forma realista los puntos de mejora basado en los recursos disponibles. Como primer punto, se determinaron los requisitos que se debían cumplir al momento de diseñar el sistema. Esto estableció parámetros de funcionamiento, así como limitantes al momento de operación y construcción.

La tercera etapa consistió en rediseñar, basado en los prototipos anteriores, teniendo en cuenta los requisitos previamente establecidos. En esta fase se seleccionaron los componentes a utilizar para el sistema de refrigeración, además de los sistemas auxiliares. Además, se consideró la distribución de espacio y diseño general de la refrigeradora. Posteriormente, se realizó un modelo 3D del diseño para verificar su funcionalidad y definir dimensiones generales y los materiales a emplear. Por último, se determinaron materiales por utilizar y la disponibilidad de equipo y herramientas para la construcción.

La cuarta etapa estuvo compuesta por el desarrollo y construcción del prototipo. En esta fase se realizó la compra de compresor, condensador, válvula de expansión y los materiales pertinentes y las herramientas necesarias para la construcción del proyecto. Luego se procedió a fabricar los diferentes componentes como la estructura general y estructura interna.

Después, se ensambló el sistema de refrigeración y se realizaron pruebas del funcionamiento general.

La quinta etapa consistió en realizar ligeras modificaciones en el prototipo según fallas encontradas en las pruebas de funcionamiento general. Estas modificaciones van de la mano con el cumplimiento de los requisitos previamente establecidos, así como errores en la construcción. Con esto realizado se llegó a obtener el resultado final para un sistema de refrigeración de baja potencia.

B. Recopilación de datos

Con el objetivo de un correcto diseño y dimensionamiento de los diferentes componentes, así como la totalidad del modelo se recopilaban datos e información del funcionamiento de prototipos anteriores. La recopilación de datos se concentró en observar los componentes utilizados, el funcionamiento general, parámetros establecidos y puntos de mejora.

En cuanto a los componentes se observó el uso de un compresor de 1/2 Hp el cual opera con R134-a. El condensador utilizado es de aletas, estos son típicamente utilizados en refrigeradoras. El evaporador fue realizado estrictamente para las dimensiones que se establecieron en el prototipo y se adecúa a la forma del espacio refrigerado. Como válvula de expansión se empleó una de tubo capilar, la cual ofrece una ventaja de cero mantenimiento.

A través de la documentación del prototipo anterior se logró determinar que este dispositivo está diseñado para operar a una temperatura ambiente de hasta $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, esto según su ciclo real de refrigeración. Posteriormente se verificó su ciclo a través de una cámara termográfica en donde se validó la temperatura del condensador, en donde se observó una temperatura de $35.3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esto nos ayuda a validar su temperatura máxima de funcionamiento debido al intercambio de calor entre el condensador y el ambiente. De igual manera se visualizó la temperatura interna del evaporador la cual se visualizó como $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ estando en el límite para las condiciones deseadas.

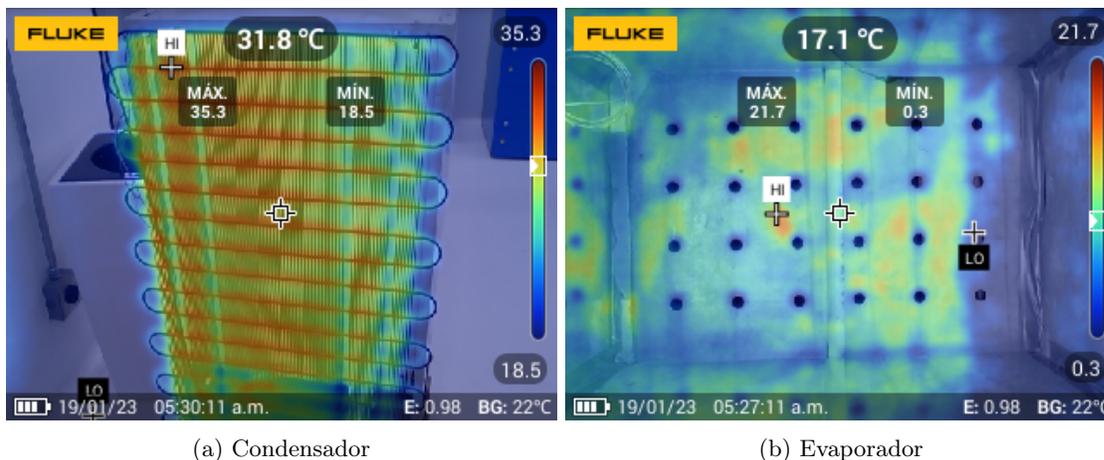


Figura 7: Temperatura de funcionamiento prototipo anterior

En cuanto a los puntos de mejora, estos se determinaron con base en el prototipo anterior. Se encuentra el aislamiento de tubería hacia el compresor, esto debido a la generación de hielo que se produce por la condensación con el medio ambiente, esto puede causar la

disminución de la vida útil tanto de los dispositivos como de la estructura y/o materiales de la refrigeradora.

De igual manera el aislamiento utilizado no está completamente aislado del medio ambiente, lo cual puede modificar sus propiedades térmicas debido a la humedad adquirida. Además, se observan partes donde el aislamiento esta presente en el exterior de la refrigeradora.

Por último, se tomó en cuenta la selección y uso de los diferentes materiales. En el uso de materiales se observan materiales aprobados por la FDA para su uso indirecto con alimentos como lo es el acero galvanizado, pero se consideró que el uso de los mismos no se aprovecha de la mejor manera dejando un área muerta, lo cual significa un desperdicio de materiales. De igual manera, la construcción de la refrigeradora no es estética dejando a la vista cintas adhesivas, componentes y cables.

C. Requisitos

Cuadro 1: Identificación de códigos

ID	Significado
Fun	Requisitos del funcionamiento del dispositivo
Dis	Requisitos de diseño del dispositivo
Tec	Requisitos técnicos del dispositivo

Cuadro 2: Tabla de requisitos

Código	Requisito
Fun-01	El refrigerador debe ser capaz de disminuir su temperatura interna de hasta 2° Centígrados.
Fun-02	La temperatura debe poseer 3 opciones de operación (2°, 3° y 4° Celsius).
Fun-03	La temperatura del espacio refrigerado debe ser homogénea.
Fun-04	El espacio interno debe presentar diferentes configuraciones para la distribución de alimentos y colocación de los mismos.
Fun-05	El encendido de los diferentes componentes debe ser automático.
Fun-06	Debe ser capaz de operar en ambientes de hasta 30° Centígrados de temperatura ambiente.
Dis-02	Los materiales empleados deben ser resistentes a la corrosión.
Dis-03	Los materiales empleados deben ser no tóxicos y de grado alimenticio.
Dis-03	La geometría externa de la refrigeradora debe carecer de bordes filosos.
Dis-04	El mantenimiento debe ser menor, con facilidad de que cualquier persona lo pueda realizar.

Continúa en la siguiente página

Cuadro 2 – Continuación de la página anterior

Código	Requisito
Dis-05	Debe tener un consumo máximo de 30 kWh.
Dis-06	Debe tener un espacio refrigerado de al menos 1.5 pies cúbicos, para cada uno de los compartimientos.
Tec-01	La refrigeradora debe operar con 110V y 60 Hz.
Tec-02	Debe operar con refrigerante R134-a.
Tec-03	La refrigeradora debe ser hermética
Tec-04	Se debe aislar la tubería de cobre para evitar condensación.
Tec-05	El aislante debe estar protegido de la humedad.

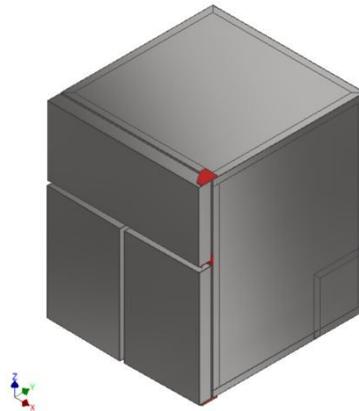
D. Diseño preliminar

Para el diseño se consideraron los requisitos previamente establecidos, así como la funcionalidad del modelo. Para iniciar este modelo se partió de la disponibilidad de materiales en el mercado nacional, así como de sus características.

Para el desarrollo del primer prototipo se tomaron en cuenta varios factores. El factor de mayor importancia es el uso del dispositivo, el cual será utilizado por hasta 3 familias. Esto significó un modelo donde los diferentes espacios fueran aislados de otros para garantizar seguridad en los productos que se resguardan.

Otro de los factores importantes que se definieron en este prototipo fueron las dimensiones, la cuales son dependientes de los materiales a emplear. En este caso se establecieron dimensiones de 2.5 x 2.5 x 3 ft. Esto se determinó basado en la venta comercial de materia prima, así como los espacios requeridos para la construcción del sistema de refrigeración.

Figura 8: Diseño general, vista isométrica



Fuente propia, realizado en Autodesk Inventor 2022

Por último, este diseño contempla el uso de materiales aprobados por la *Food & Drug Administration* (FDA) para un contacto indirecto con los alimentos. De igual forma se consideró el uso de refrigerante R-134A ya que este no representa un peligro hacia los individuos por medio de fuga de refrigerante.

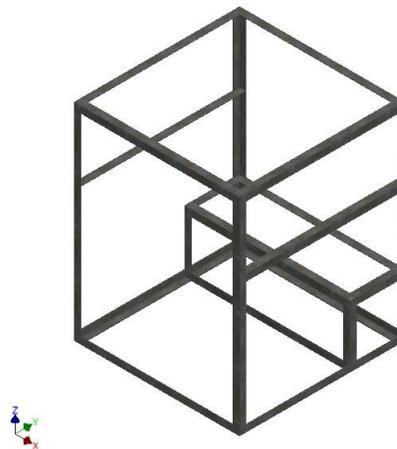
Este modelo consta de varias partes. Estas partes se pueden separar en las siguientes.

- Estructura metálica
- Estructura interna
- Plancha externa
- Puertas
- Sistema de refrigeración

El diseño estructural de la refrigeradora cumple con dos propósitos principales. Brindar rigidez y resistencia a la refrigeradora y ser el punto de anclaje para la lámina exterior. De igual forma esta estructura permite una correcta incorporación de componentes delimitando los espacios necesarios para cada uno de ellos.

La estructura se realizó con angular de $3/4 \times 3/4 \times 1/8$ in de acero galvanizado. Este angular se vende en piezas comerciales de seis metros de longitud, por lo cual se emplearon 2 unidades. Cabe destacar que para el aprovechamiento de material se tuvo que generar patrones de corte para lograr extraer todas las piezas necesarias, además de reducir los desperdicios.

Figura 9: Estructura metálica, vista isométrica



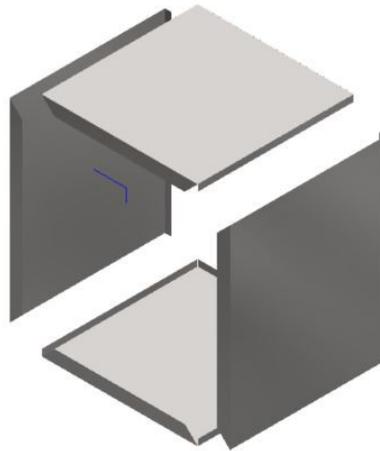
Fuente propia, realizado en Autodesk Inventor 2022

Con la estructura deseada, se procedió a diseñar la lámina superior, la cual ayudará a proteger todos los elementos y a su vez brindar un aspecto estético al modelo. La lámina es

de acero galvanizado debido a su aceptación por la FDA sobre contacto indirecto, además este material brinda una protección hacia la corrosión.

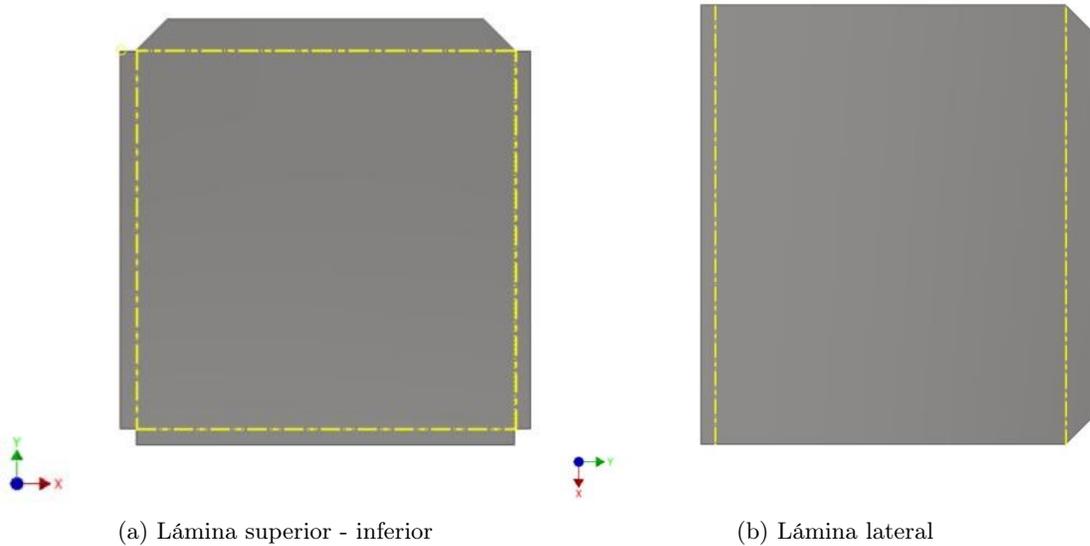
Para la elaboración de esta pieza se empleará una técnica de doblado, esta nos permite ajustar la lámina a la estructura general. En este caso se generaron 4 caras principales (superior, inferior y 2 caras laterales), las cuales tiene como material base acero galvanizado calibre 24. Estas son las encargadas de proteger los sistemas y brindar durabilidad al prototipo.

Figura 10: Lámina metálica cuerpo, vista isométrica



Fuente propia, realizado en Autodesk Inventor 2022

A continuación se presentan los patrones planos para la construcción del exterior.



(a) Lámina superior - inferior

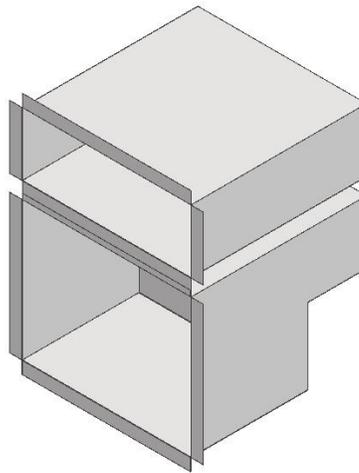
(b) Lámina lateral

Figura 11: Patrones planos, estructura lámina
Fuente propia, realizado en Autodesk Inventor 2022

De igual manera el interior de la refrigeradora se fabricará con poliestireno de alto impacto de 1 mm, el cual se doblará a través de una candela para acrílico, esto nuevamente con el objetivo de disminuir la cantidad de pegamento necesario, así como de garantizar una mejor hermeticidad. El interior está compuesto por 2 espacios principales (superior e inferior). El espacio inferior se divide en 2 espacios para lograr 3 espacios totales.

A razón de las secciones planteadas, cada una contará con $1.7ft^3$ de almacenamiento. Cabe destacar que para lograr esto no se pudo generar 3 espacios idénticos, debido al espacio destinado para componentes del ciclo térmico. Por lo cual las distribuciones no son simétricas.

Figura 12: Interior de refrigeradora, vista isométrica

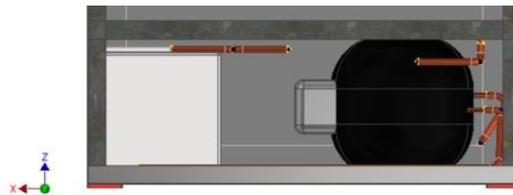


Fuente propia, realizado en Autodesk Inventor 2022

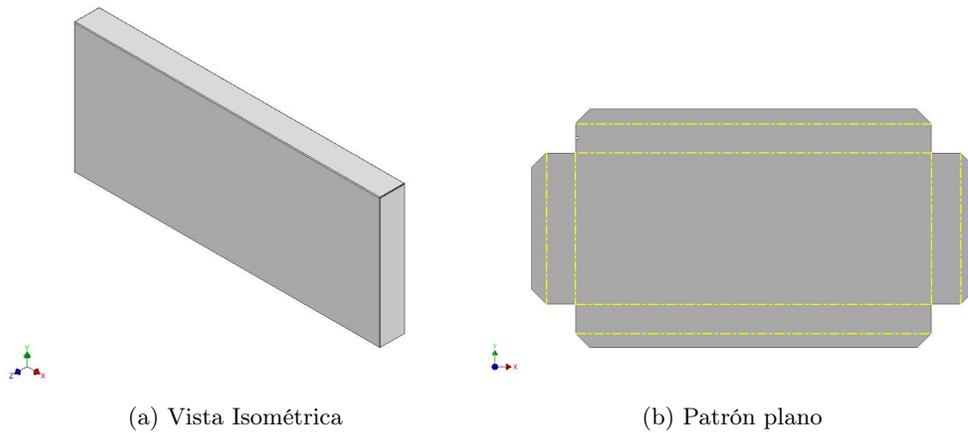
Por último, se definen las dimensiones y geometrías de las puertas, las cuales son dependientes de las 3 secciones. Para la realización de estas nuevamente se realizará a través de doblado de lámina. Estas se adaptan a las secciones antes mencionadas. La puerta inferior como se observa en la Figura 8, consta de puertas mariposa las cuales si son simétricas entre sí.

Además de las estructuras antes mencionadas se presenta el diseño para la incorporación de los dispositivos necesarios para el sistema de refrigeración. El espacio destinado y la construcción de algunos de los elementos se muestra a continuación.

Figura 15: Distribución componentes de sistema de refrigeración



Fuente propia, realizado en Autodesk Inventor 2022

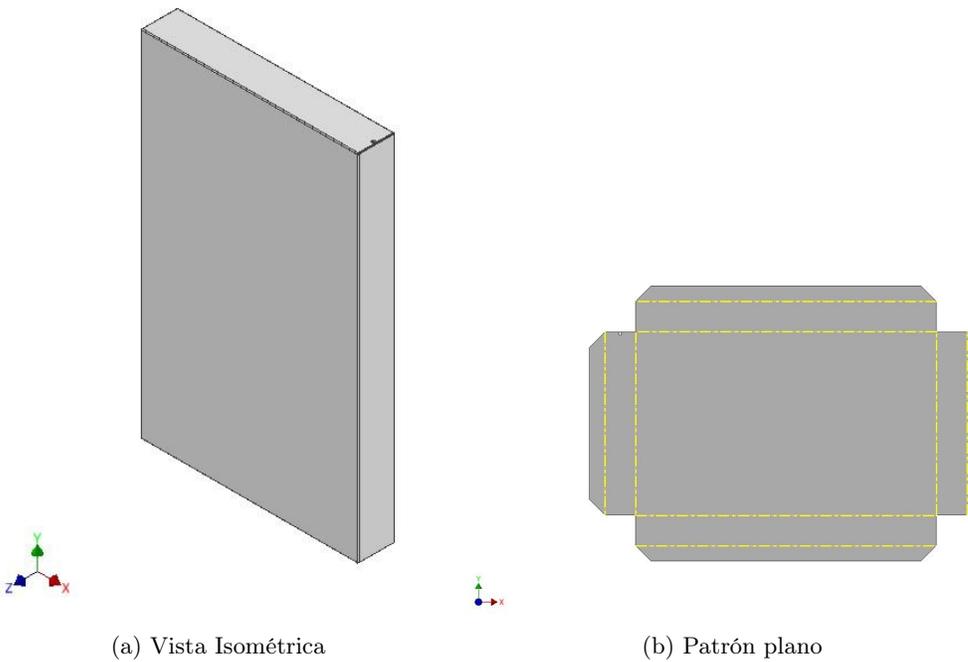


(a) Vista Isométrica

(b) Patrón plano

Figura 13: Puerta superior

Fuente propia, realizado en Autodesk Inventor 2022



(a) Vista Isométrica

(b) Patrón plano

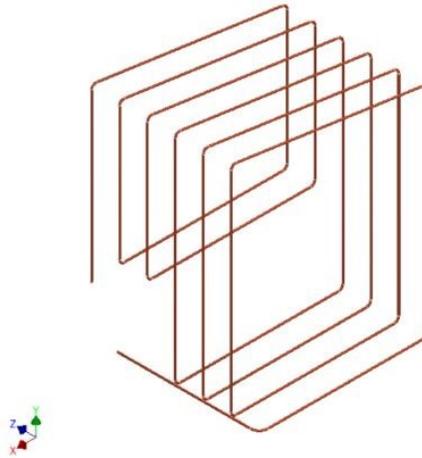
Figura 14: Puerta inferior

Fuente propia, realizado en Autodesk Inventor 2022

En la distribución presentada, el tramo restante fue ocupado por la válvula de expansión de tubo capilar, que dada su flexibilidad nos permite la unión de los componentes.

En la Figura [16](#), se observará el diseño de evaporador, el cual rodeará al interior de la refrigeradora que se observa en la Figura [12](#). El objetivo de realizar este evaporador es garantizar la transferencia de calor en las 3 secciones de la refrigeradora. Este se realizará con tubo de cobre flexible de 1/4 in.

Figura 16: Evaporador



Fuente propia, realizado en Autodesk Inventor 2022

E. Cálculos

1. Carga térmica

La carga térmica es por definición el calor que deseamos extraer de un espacio determinado en un tiempo establecido. Este valor nos permite seleccionar los componentes que se deben emplear para que nuestro sistema cumpla con los requisitos y funcionalidades previamente establecidos. Para el cálculo de dicha carga se tomaron en cuenta 4 factores principales.

- Carga por contenido
- Carga por infiltración de aire
- Carga por componentes eléctricos
- Carga por transferencia de calor a través de paredes

Carga por contenido

Para determinar la carga por contenido se estudió la canasta básica guatemalteca y sus productos que requieren refrigeración, además se optó por extraer las cantidades diarias recomendadas para una familia de 4 personas. Con los productos establecidos, se procedió a calcular la cantidad de los mismos que serán almacenados.

Con el fin de establecer las cantidades de nuestros productos, se tomó en cuenta la funcionalidad y limitantes de nuestro dispositivo, el cual presenta un diseño que se pretende sea funcional para 3 familias. Debido a las limitantes de espacio de aproximadamente 1.7 ft^3 por familia. Se estableció que dicho espacio puede almacenar hasta 3 veces las cantidades diarias por producto.

Basado en los parámetros previamente establecidos se puede calcular la cantidad de calor por extraer basado en la siguiente ecuación [\[1\]](#) (Cengel & Boles, [2014](#)). Cabe destacar que

para este cálculo se estará empleando un $\Delta T = 28 \text{ }^\circ\text{C}$, este se origina de la suposición de que los productos pueden estar a una temperatura ambiente de hasta $30 \text{ }^\circ\text{C}$ y una temperatura mínima en la refrigeradora de $2 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$Q = m * Cp * \Delta T \quad (4)$$

Donde:

Q es el calor a extraer de cada alimento (kJ)

m es la masa del alimento (kg)

Cp es el calor específico de cada uno de los alimentos (kJ/(kg*°K))

ΔT es el diferencial de temperatura entre el ambiente y el medio refrigerado (°C)

Utilizando los valores de calor específico de alimentos de ASHRAE, se generó una tabla la cual incluye los parámetros utilizados para calcular la carga por contenido. Sumando las cargas por grado de temperatura se procedió a multiplicar esta carga por el diferencial de temperatura antes definido.

Cuadro 3: Carga por alimentos

Alimento	Cp (kJ/kg°C)	Cantidad (kg)	Carga (kJ)
Carne de res	3.52	1.91	6.71
Carne de cerdo	3.08	0.83	2.57
Carne de pollo	4.34	1.43	6.21
Embutidos	3.47	0.57	1.99
Leche	3.89	2.39	9.31
Crema	3.73	0.42	1.57
Queso	3.16	0.28	0.91
Papas	3.67	1.35	4.98
Tomate	4.02	1.53	6.15
Cebolla	3.95	0.88	3.48
Frutas (varias)	3.91	9.01	35.22
Frijol	3.99	3,86	15.40
Arroz	2.93	1.52	4.45
Agua	4.19	9	37.71
Total			3828.24

Con la carga determinada de 3828.24 kJ , se procede a establecer que este calor se extraerá en un tiempo de 8 horas. Esto nos permite calcular la potencia de enfriamiento a través de la ecuación [5](#).

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} \quad (5)$$

Donde:

\dot{Q} es la potencia de enfriamiento (W)

Q es el calor a extraer (kJ)

t es el tiempo de enfriamiento (seg)

Esto nos da como resultado una potencia de 132.92 W lo cual se puede aproximar a 453.28 BTU/hr .

Carga por infiltración de aire

Este tipo de carga se deriva del intercambio o infiltración de aire del medio ambiente hacia nuestro espacio refrigerado. Dada la naturaleza de esta carga se tiene como objetivo la completa hermeticidad de nuestro espacio refrigerado con relación al medio ambiente mientras las puertas estén cerradas.

Debido al uso del dispositivo se debe considerar la infiltración de aire al momento de abrir las puertas. En otros sistemas se podría considerar ciertos mecanismos tales como cortinas de viento o cortinas plásticas para disminuir la infiltración. En una refrigeradora estos sistemas no son aplicables debido a las desventajas que estas proveen, por lo cual se optó por permitir un flujo de aire sin ninguna restricción.

A raíz de lo antes establecido se debe calcular la carga que el aire representa sobre nuestro sistema. Considerando el caso pesimista que se puede presentar en la refrigeradora, se asumió que el aire se escapará por completo de nuestro sistema cada 4 segundos que una de las puertas permanezca abierta. De igual forma se estableció que al ser un dispositivo que será utilizado por 3 familias de forma simultánea, la abertura de puertas será de 15 veces por hora teniendo un tiempo promedio de 30 segundos por cada vez que se abre la puerta.

Además se tiene que considerar que el volumen de espacio refrigerado será de aproximadamente 5.9 ft^3 . Lo cual se puede representar como 0.21 kg de aire, bajo condiciones estándares a 300 °K, donde su densidad es de 1.293 $\frac{kg}{m^3}$ y su C_p es de 1.005 $\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ K}$.

Utilizando el concepto de flujo volumétrico y los datos anteriormente mencionados se puede sumir un caudal de aire sobre el espacio refrigerado de 0.055 kg/s . Con el flujo másico establecido se puede calcular la carga térmica del mismo a través de la ecuación [6](#).

$$\dot{Q} = \dot{m} * C_p * \Delta T \quad (6)$$

Donde:

\dot{Q} es la potencia de enfriamiento (W)

\dot{m} es el flujo másico de aire (kg/seg)

C_p es el calor específico del aire (kJ/(kg*°K))

ΔT es la diferencia de temperatura entre espacio refrigerado y ambiente (°C)

Esto nos permite tener una potencia de 1.54 W o su equivalente de 5.27 BTU/hr por cada ciclo, donde un ciclo representa 4 segundos de puertas abiertas. Basado en supuestos de puerta abierta se presentan 90 ciclos durante una hora dando como carga final por infiltración un valor de 139.2 W o 474.66 BTU/hr .

Carga por componentes eléctricos

Esta carga se origina de todos los dispositivos que consuman energía eléctrica dentro del espacio refrigerado. Esta carga está fuertemente relacionada con la eficiencia de dichos dispositivos y su generación de calor. La refrigeradora dispondrá de 2 dispositivos, en específico 2 ventiladores que serán los encargados de distribuir homogéneamente el aire en el interior de la refrigeradora así como su paso por el evaporador. Para dicho cálculo se asumió que el 80 % de su consumo se representará como carga térmica.

Cuadro 4: Carga por dispositivos eléctricos

Dispositivos	Cantidad	Potencia nominal unitaria (W)	Carga (W)
Ventiladores	2	15	12
Total			24

Obteniendo su equivalente de 81.91 Btu/hr .

Carga por transferencia de calor a través de paredes

La transferencia de calor por paredes se considera toda ganancia de calor que puede llegar a tener el espacio refrigerado a través de conducción. Esta carga depende del material aislante utilizado, así como su grosor establecido. Para calcular dicha carga se utilizará la ecuación 7 (Ghajar & Cengel, 2011).

$$\dot{Q} = k * A * \frac{\Delta T}{L} \quad (7)$$

Donde:

\dot{Q} es la potencia de enfriamiento (W)

k es la conductividad térmica del material $\frac{BTU*in}{hr*f^2*F}$

A es el área superficial (ft^2)

ΔT es la diferencia de temperatura entre espacio refrigerado y ambiente ($^{\circ}C$)

L es el grosor de la pared (in)

En este caso se optó por utilizar la propiedad de conductividad térmica (k) para facilitar el proceso de iteración para diferentes materiales y grosores. Con el objetivo de determinar qué material nos conviene más, se calcularon las cargas para tres diferentes materiales con las siguientes propiedades y un grosor establecido de 2 in.

Cuadro 5: Ganancia de calor para espuma de poliuretano, $k = 0.16 \frac{BTU \cdot in}{hr \cdot ft^2 \cdot F}$

Paredes	Cantidad	Área Total (ft^2)	$Q(BTU/hr)$
Paredes laterales	2	10	40
Paredes superiores	2	6.8	27.2
Pared frontal/trasera	2	10	40
Total			107.2

Cuadro 6: Ganancia de calor para poliestireno expandido (Duroport), $k = 0.27 \frac{BTU \cdot in}{hr \cdot ft^2 \cdot F}$

Paredes	Cantidad	Área Total (ft^2)	$Q(BTU/hr)$
Paredes laterales	2	10	67.5
Paredes superiores	2	6.8	45.9
Pared frontal/trasera	2	10	67.5
Total			180.8

Cuadro 7: Ganancia de calor para espuma expansiva SIKA, $k = 0.2 \frac{BTU \cdot in}{hr \cdot ft^2 \cdot F}$

Paredes	Cantidad	Área Total (ft^2)	$Q(BTU/hr)$
Paredes laterales	2	10	50
Paredes superiores	2	6.8	34
Pared frontal/trasera	2	10	50
Total			134

Con base en lo calculado se realizará una matriz de ponderación para la selección del aislante a utilizar. En la siguiente matriz se presenta una calificación de 1 a 4. Siendo 1, deficiencia del producto y 4 excelencia del producto. Cabe destacar que esta matriz es aplicable a nuestro sistema y esta puede cambiar según su objetivo.

Cuadro 8: Matriz de ponderación para materiales aislantes

	Espuma de poliuretano	Espuma de poliestireno expandido	Espuma expandible SIKA
Precio	2	4	2
Presentación	3	3	3
Relleno	3	3	4
Carga	4	3	3
Total	12	13	12

Basado en este cuadro se toma la decisión de utilizar la Espuma de poliestireno expandido

con 2 pulgadas de espesor. Representando este material una carga por transferencia de calor de 180.9 BTU/hr .

Con las cargas calculadas a través de los 4 mecanismos ya mencionados se procede a sumar estas para poder obtener la potencia de refrigeración total que requerimos para nuestro sistema.

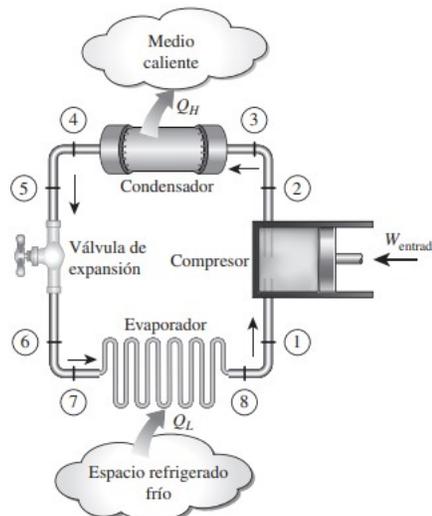
Cuadro 9: Carga total de refrigeración

Tipo de carga	Carga (BTU/hr)
Carga por contenido	453.28
Carga por infiltración de aire	474.66
Carga por componentes eléctricos	81.91
Carga por transferencia de calor a través de paredes	180.8
Total	1,190.75
Total (Watts)	349.0

2. Ciclo termodinámico

Un ciclo termodinámico nos da una pauta del comportamiento que se presentará en nuestro ciclo de refrigeración. En este caso se estará realizando un ciclo de refrigeración por compresión de vapor. Este ciclo consta de 4 estados, los cuales están establecidos antes y después de los componentes necesarios. Este ciclo se puede caracterizar en un ciclo de refrigeración ideal y ciclo refrigeración real. El siguiente diagrama representa el orden y los componentes a seleccionar para el ciclo.

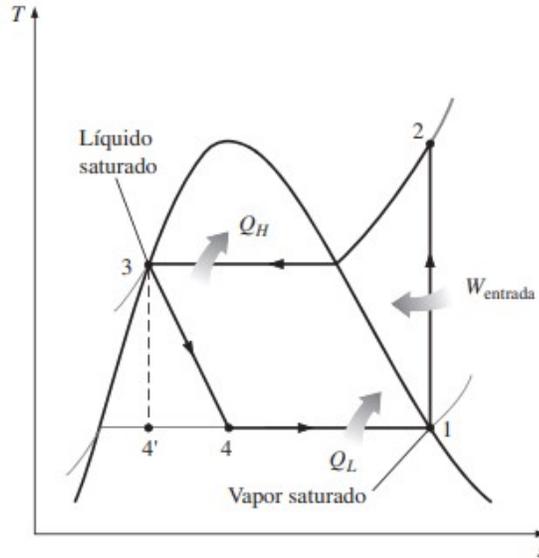
Figura 17: Componentes de ciclo de refrigeración por compresión de vapor



Fuente: Adaptado de *Termodinámica* (pag. 619), 2014

El ciclo de refrigeración ideal, contempla 4 estados. Estos se tienen que especificar con el objetivo de calcular la potencia que debe ingresar al sistema así como las pérdidas y ganancias de calor al sistema a través de los sumideros de calor. El ciclo real en un diagrama Temperatura - entropía el cual se muestra a continuación.

Figura 18: Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor



Fuente: Adaptado de *Termodinámica* (pag. 619), 2014

En este diagrama se pueden observar los 4 puntos y ciertas propiedades de estos al estar sobre la curva de saturación de agua. Para determinar este ciclo para el sistema se tiene como primer supuesto las temperaturas de los sumideros de calor. El sumidero de baja temperatura (espacio refrigerado) estará a 2°C , considerando un diferencial de temperatura de 10°C para garantizar una buena transferencia de calor, se plantea el estado No. 1 a una temperatura de 265.15°K y una calidad de vapor igual a 1. En el caso del sumidero de alta temperatura se tomó como temperatura máxima de operación del sistema como 30°C , manteniendo un diferencial de 5°C para este sumidero se establece una temperatura de 308.15°K y se considera el refrigerante en calidad 0 o líquido saturado.

Determinando 2 propiedades para el estado 1 y 3 se puede determinar las propiedades restantes, como lo es la entalpía, entropía, presión y calidad. Para la determinación del estado 2, se asume una compresión isentrópica trasladando el valor de esta propiedad al estado 2. A través del estado 3 se puede determinar la presión del estado 2, considerando una pérdida de calor a presión constante. Por lo cual se determina el estado 2 con dichas propiedades.

Para calcular las propiedades del estado 4 se asume un proceso de pérdida de presión a entalpía constante y absorción de calor a presión constante. Esto nos permite extraer la entalpía del estado 3 y la presión del estado 1. Con esto se logra la determinación del estado 4.

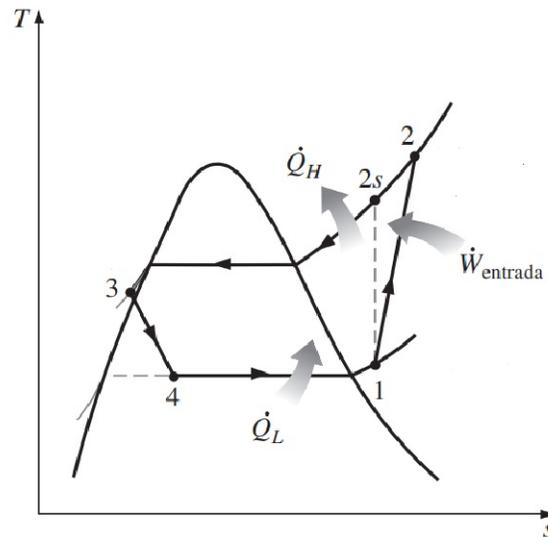
A continuación, se muestra un resumen de las propiedades de los estados para un ciclo ideal de refrigeración que operará a una temperatura de 2°C para su espacio refrigerado y una temperatura ambiente de 30°C .

Cuadro 10: Resumen propiedades termodinámicas ciclo ideal de refrigeración

Estado	Temperatura ($^{\circ}\text{K}$)	Presión (kPa)	Entalpía (kJ/kg)	Entropía ($\text{kJ/kg} \cdot ^{\circ}\text{K}$)	Calidad
1	265.15	216.93	393.87	1.732	1
2	313.65	886.98	423.16	1.732	
3	308.15	886.98	249.01	1.167	0
4	265.15	216.93	249.01	1.185	

Ya que este ciclo contempla procesos imposibles en la realidad se procede a calcular un ciclo real, en donde se establece una compresión no isentrópica e intercambios de calor con cambios de presión. Para esto se parte de un punto 1 y 3 idénticos al ciclo ideal.

Figura 19: Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor



Fuente: Adaptado de *Termodinámica* (pág. 620), 2014

A raíz de este punto el estado 2 se deriva en un proceso idealizado (compresión isentrópica) al cual llamaremos 2s y uno no idealizado, el cual tiene como supuesto una eficiencia isentrópica del 85% el cual será nombrado 2a. Para determinar el estado 2s se utiliza la entropía del estado 1 y la presión del estado 3, con un aumento de 15.20 kPa, el cual es resultado de la caída de presión por fricción del fluido en el condensador.

Para determinar el verdadero comportamiento del ciclo con la eficiencia establecida se requiere de calcular la entropía del estado 2a (estado real), para esto se empleará la ecuación 8 (Cengel & Boles, 2014).

$$\eta = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1} \quad (8)$$

Donde:

h_{2s} es la entalpía del estado 2s (kJ/kg)

h_1 es la entalpía del estado 1 (kJ/kg)

h_{2a} es la entalpía del estado 2a (kJ/kg)

η es la eficiencia isentrópica de compresor

De esta ecuación se despeja h_{2a} y se obtiene un valor de $431.38 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ \text{K}$.

Para la determinación del estado 4, únicamente se deja una diferencia de presión entre el estado 4 y 1 de 15.2 kPa debido al evaporador.

A continuación, se presenta un resumen de las propiedades para el ciclo real de refrigeración por compresión de vapor.

Cuadro 11: Resumen propiedades termodinámicas ciclo real de refrigeración

Estado	Temperatura ($^\circ \text{K}$)	Presión (kPa)	Entalpía (kJ/kg)	Entropía ($\text{kJ/kg} \cdot ^\circ \text{K}$)	Calidad
1	265.15	201.73	394.34	1.739	1
2s	316.47	902.18	425.82	1.739	
2a	321.72	902.18	431.37	1.756	
3	308.15	886.98	249.01	1.167	0
4	265.15	216.93	249.01	1.185	

Basándonos en las propiedades extraídas del ciclo real, se proceden a establecer parámetros de diseño como lo es el flujo másico de refrigerante, el rechazo de calor, la potencia necesaria y un parámetro de comparación como lo es el *Coefficient of Performance* (COP por sus siglas en inglés).

Para determinar estas propiedades empleamos la ecuación [9](#), la cual surge a partir de un análisis de energía.

$$\dot{Q}_L = \dot{m} * (h_4 - h_1) \quad (9)$$

Donde:

\dot{Q}_L es la potencia requerida en el sumidero de baja temperatura (349.0 W)

\dot{m} es el flujo másico de refrigerante kg/seg

h_4 es la entalpía del estado 4 kJ/kg

h_1 es la entalpía del estado 1 kJ/kg

Se calcula que el valor de \dot{m} necesario es de 0.0023 kg/seg .

Para el dimensionamiento de nuestro condensador se calcula la disipación de calor a través de la siguiente ecuación [10](#).

$$\dot{Q}_H = \dot{m} * (h_2 - h_3) \quad (10)$$

Donde:

\dot{Q}_H es la potencia requerida en el sumidero de alta temperatura W

\dot{m} es el flujo másico de refrigerante kg/seg

h_2 es la entalpía del estado 2 kJ/kg

h_3 es la entalpía del estado 3 kJ/kg

Se determina que la potencia de disipación de calor es de 437.9 *Watts* para el condensador. Este valor nos permite la selección de un condensador con esta potencia como mínimo aceptable.

Por último, se determina el trabajo de entrada que se le debe suministrar al ciclo para cumplir con los estados preestablecidos. Esto se obtiene a través de la siguiente ecuación [11](#).

$$\dot{W}_{entrada} = \dot{m} * (h_2 - h_1) \quad (11)$$

Donde:

$\dot{W}_{entrada}$ es la potencia requerida en el compresor W

\dot{m} es el flujo másico de refrigerante kg/seg

h_4 es la entalpía del estado 2 kJ/kg

h_1 es la entalpía del estado 1 kJ/kg

En donde se determina que el trabajo de entrada es de 75.60 *Watts* o 0.11 *HP*.

3. Selección de componentes

Basado en los parámetros de diseño ya obtenidos se puede seleccionar el tipo de componentes que se requieren para la construcción de la refrigeradora.

Compresor

La selección del compresor se realiza a través de varios parámetros. En este caso se requiere de un compresor que opere con refrigerante R134-a, a temperaturas de no congelación y que tenga una capacidad de enfriamiento de al menos 349 *Watts* para condiciones ambientales establecidas. Cabe destacar que la potencia antes calculada es un parámetro de búsqueda. Utilizando este valor como referencia mínima se procede a buscar un compresor con potencia de enfriamiento dada por el fabricante

El compresor seleccionado es un compresor marca Embraco, el cual tiene una potencia nominal de 1/4 HP, trabaja bajo condiciones de *Medium Back pressure (MPB)*, utiliza refrigerante R134-a. Este compresor presenta un factor de seguridad de 1.36. Cabe destacar que el uso de factor de seguridad en sistema de refrigeración es poco utilizado debido a que la carga máxima se presenta con poca frecuencia durante su operación.

Esto se debe a que el cálculo de carga térmica contempla todas las cargas presentes al mismo momento, lo cual puede darse al momento de conectarse el dispositivo por primera vez. Para compensar la alta potencia requerida por el compresor se analizaron diferentes escenarios, como lo es la reducción de refrigerante establecido como máximo por el fabricante a la cantidad necesaria en los cálculos, esto mantendrá el tiempo de enfriamiento determinado a potencia baja. El caso opuesto es mantener la cantidad de refrigerante máxima, disminuyendo el tiempo requerido para el enfriamiento.

Evaporador

El evaporador tiene como parámetro principal la extracción de calor necesaria en el espacio refrigerado, este tiene un valor de 349.0 *Watts*. Ya que el diseño de la refrigeradora considera una geometría poco común para un evaporador comercial, este se realizará de forma personalizada para el sistema de refrigeración.

Para un correcto diseño del intercambiador de calor se tiene que considerar el mecanismo por el cual se realizará la transferencia, material a utilizar (cobre) y la longitud del mismo.

El mecanismo de transferencia de calor que se tomará en cuenta es la convección forzada por flujo cruzado, siendo el fluido aire a 4 °C y se asume una velocidad de 4 m/s sobre el evaporador, la cual se logrará a través de ventiladores. Además se considera que la temperatura de la superficie del evaporador será de -8°C ya que este parámetro fue establecido en el ciclo de refrigeración.

Se determina la temperatura promedio del medio circundante a través de la ecuación [12](#) (Ghajar & Cengel, [2011](#)).

$$T_f = \frac{T_s - T_\infty}{2} \quad (12)$$

Donde:

T_s es la temperatura de la superficie del evaporador

T_∞ es la temperatura del aire circundante.

A través de estos parámetros obtenemos un valor de $T_s = -2^\circ\text{C}$.

Se procede a calcular el número de Reynolds [13](#), el cual nos permitirá conocer qué tipo de flujo cruzado estamos experimentando bajo ciertas condiciones. Estas condiciones son dependientes de la velocidad de aire (V), diámetro de tubería (D), la cual es de 1/4", por su facilidad de obtención en el mercado de tubería de cobre. De igual forma a través de tablas de propiedades del aire se obtiene la viscosidad cinemática (Ghajar & Cengel, [2011](#)) (ν), la cual depende de la temperatura T_f .

$$R = \frac{V * D}{\nu} \quad (13)$$

Donde:

V es la velocidad del aire en flujo cruzado m/s

D diámetro exterior de la tubería m

ν viscosidad cinemática m^2/s

Se obtiene un Reynolds de 2885, lo cual nos indica que es un flujo en transición, en cuanto a la transferencia de calor se desea un número de Reynolds mayor a 4000, ya que esto nos permite tener un flujo turbulento y mayor transferencia de calor.

Otra propiedad necesaria para calcular la transferencia de calor por convección forzada es el número de Nusselt (Nu), este depende directamente del número de Reynolds y el valor de Prandtl (Pr) el cual es una propiedad del aire que depende de su temperatura. La ecuación a utilizar se emplea para valores de $Pr > 0.2$.

$$Nu = 0.3 + \frac{0.62Re^{1/2}Pr^{1/3}}{[1 + (0.4/Pr)^{2/3}]^{1/4}} [1 + (\frac{Re}{282,000})^{5/8}]^{4/5} \quad (14)$$

Donde:

Re es el número de Reynolds

Pr es el número de Prandtl

Donde se obtiene un valor $Nu = 27.97$.

Utilizando otra relación del número de Nusselt la cual se observa en la ecuación [15](#) (Ghajar & Cengel, [2011](#)), esta nos permite encontrar el valor h el cual nos indica la capacidad de transferir calor a través de este método.

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (15)$$

Donde:

h es el coeficiente de transferencia de calor $W/(m^2 * C)$

D es el diámetro externo de la tubería m

k es la conductividad térmica del aire $W/(m^2 * C)$

A través de esta se puede despejar para conocer el coeficiente de transferencia de calor por convección para el sistema, el cual es de $51.72 W/(^{\circ}C * m^2)$.

Utilizando el concepto transferencia de calor de la ecuación [16](#).

$$\dot{Q} = hA_s(T_s - T_{\infty}) \quad (16)$$

Donde:

\dot{Q} es la transferencia de calor W

h es el coeficiente de transferencia de calor $W/(m^2 * C)$

T_s es la temperatura de la superficie del evaporador

T_{∞} es la temperatura del aire circundante.

Se puede determinar el largo mínimo que debe tener el evaporador utilizando una tubería de 1/4". Dando como resultado un valor de 14.1 m de tubería cobre de 1/4" para poder extraer 349.0 W de carga térmica.

Condensador

El condensador será el encargado de liberar el calor absorbido al ambiente y debe poseer una capacidad de 437 W. Al ser un elemento que se presenta en el exterior de la refrigeradora, este tiene una geometría general, por lo cual este se comprará en el mercado a través de las características deseadas para el mismo.

En cuanto a la compra de este se busca que sea de aluminio por su característica de rechazo al calor, este además tendrá un ventilador el cual garantice el funcionamiento del condensador multi capas.

Válvula de expansión

La válvula de expansión es el componente que nos genera una disminución de la temperatura para lograr el intercambio de calor con el espacio refrigerado. La válvula de expansión que se utilizará es de tipo tubo capilar, esto debido a que este tipo de válvula carece de mantenimiento y tiene un bajo costo en el mercado.

Para la selección de este tipo de válvulas, se tiene que determinar el diámetro de tubería a utilizar y el largo de esta para lograr la caída de presión deseada. Como parámetros de importancia para la determinación de estos valores, se tiene la potencia de compresor (1/4 HP) y la aplicación de la misma (MPB) y el tipo de refrigerante a utilizar (R134-a).

Se determinó que el largo para el tubo capilar es de 4 metros con un diámetro nominal de 0.042 pulgadas (Embraco, 2020).

F. Manufactura

En esta sección se presentan los procedimientos que se llevaron a cabo en la construcción de cada uno de los elementos presentes en la refrigeradora. A cada paso se establecerá materiales y tratamientos utilizados, así como medidas y equipo de seguridad que se debe considerar según las herramientas utilizadas. Para la realización de cualquier tarea de manufactura se debe emplear el equipo de protección personal (EPP) básico. Este contempla lo siguiente.

- Gafas de protección
- Gabacha de manga corta
- Botas punta de acero
- Ropa con baja inflamabilidad
- No usar accesorios (aretes, relojes, cadenas, etc)
- Recogerse el pelo si es necesario

1. Estructura metálica

La estructura metálica es la primera pieza que se realizó debido a que es la base estructural del diseño, además este elemento es el que delimita espacios para otros componentes y una base para la sujeción de los mismos.

Para la construcción de este elemento se emplearon 2 angulares de 6 metros de acero galvanizado con dimensiones de $3/4 \times 3/4 \times 1/8$ in. Este fue cortado bajo patrones de corte, esto con el objetivo de lograr extraer todas las piezas necesarias y minimizar los desperdicios. Cabe destacar que las medidas de corte se definieron en pulgadas por lo cual se tiene que 6 metros corresponde a 236 pulgadas.

Del primer angular se debe extraer las siguientes piezas:

- 8 piezas de 24 pulgadas.
- 2 piezas de 8 pulgadas.
- 2 piezas de 9 pulgadas.

Sumando las dimensiones de los cortes se obtiene un total de 226 pulgadas, dejando un residuo de 10 pulgadas.

El segundo angular se corta de la siguiente manera:

- 4 piezas de 28.5 pulgadas.
- 5 piezas de 24 pulgadas.

En este caso se tiene una suma de 234 pulgadas dejando como residuo 2 pulgadas.

Antes de realizar los cortes antes determinados es importante la revisión del equipo de seguridad que se debe utilizar, así como verificar que hay un ambiente propicio para la realización de cortes. Los cortes se realizaron con ayuda de una ingletadora la cual nos permite realizar tanto cortes rectos o angulados según se requiera.

Cortadas las piezas se procedió a soldarlas con soldadura de arco eléctrico, en la cual se empleó un electrodo 6013 de $3/32$ de pulgada. En este caso nuevamente se da importancia al uso de equipo de protección personal (EPP).

El EPP requerido fue:

- Careta de soldadura.
- Mangas de soldadura.
- Gabacha de soldadura.
- Protectores de pies.

Figura 20: Equipo de protección personal para soldar



Figura 21: Proceso de soldadura



Terminado el proceso de soldadura se procedió a esmerilar el exceso de soldadura, esto nos ayuda a crear una superficie lisa la cual se empleó para la sujeción de la lámina galvanizada exterior. Por último, se procedió a pintar la estructura, esto con el objetivo de maximizar la vida útil de este elemento protegiéndolo de corrosión. La pintura empleada fue pintura de aceite.

Figura 22: Acabado final estructura



2. Lámina galvanizada

Utilizando como referencia la estructura metálica se corroboró que este cumpla con las medidas deseadas. Después de la verificación se procedió a cortar la lámina galvanizada de calibre No. 22 con ayuda de una cortadora de plasma, debido a la herramienta utilizada y al acabado logrado no se realizó limado en el filo de lámina.

La realización de los cortes se realizó siguiendo los planos estipulados en el diseño, siendo 4 partes independientes las cuales corresponden a cada cara de la estructura. Adicionalmente cada perfil de lámina generado consta de dobleces según su posición. Las láminas que serán ubicadas posteriormente a los laterales, se les realizó dos dobleces, estos para ayudar a ensamblar el producto final. En el caso de cara superior e inferior se deben realizar 4 dobleces los cuales sujetaran y permitieran generar el armado final.

Figura 23: Medición de lámina galvanizada para corte



Los dobleces de lámina se realizaron posicionando la lámina sobre su respectiva cara en la estructura sujetándola a través de prensas tipo C y apoyándonos de un perfil hembra para asegurarlo. Posteriormente, se golpea la lámina con una martillo de goma sobre el borde hasta lograr el doblez deseado. Cabe destacar que se empleó esta técnica debido al ajuste que se quería lograr, de esta forma la lámina presenta un ajuste preciso sobre la estructura. Utilizando la misma técnica se realizaron los dobleces posteriores.



(a) Ajuste de láminas individuales

(b) Lámina exterior terminada

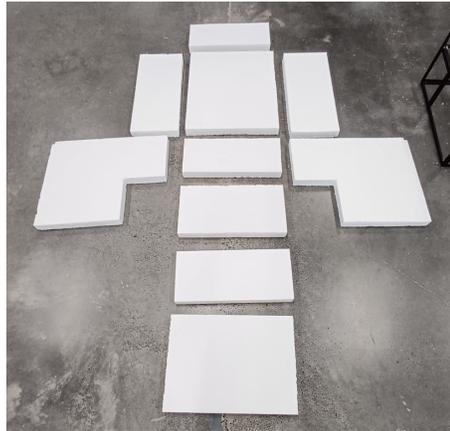
Figura 24: Lámina galvanizada

Adicional a la lámina general de la estructura, se realizaron los cortes para la generación de las puertas, en este caso se presentan 3 perfiles más. En este caso el doblado de lámina representó mayor dificultad ya que el aislante no nos permitía doblar correctamente la lámina. Debido a esto se realizaron 3 dobleces con el objetivo de generar una caja dejando un lado intacto para introducir el aislante y colocar las manecillas. Se procedió a realizar el último doblez para sellar la puerta con ayuda de poliestireno de alto impacto.

3. Aislante

En el caso del aislante se empleó poliestireno, el cual se compró en una presentación de 2 ft x 4 ft. En este caso el corte se realizó con una cuchilla. Para el aislante se realizaron los cortes y se colocaron en el interior de la estructura, el objetivo es generar una interferencia entre las caras del aislante para así evitar la filtración de aire entre cortes. Los cortes quedaron de la siguiente manera.

Figura 25: Piezas necesarias de aislamiento



Con los cortes de aislamiento se procede a ensamblarlas para asegurar la interferencia y garantizar no tener espacios muertos de aislamiento.

Figura 26: Aislamiento colocado



Con esta verificación se procede a proteger el aislamiento a través de nylon, este protegerá al poliestireno expandido de la humedad que se puede originar del evaporador, además de protegerlo ante algún agente antibacterial que pueda tener un contacto con el aislamiento el cual pueda provocar su degradación.

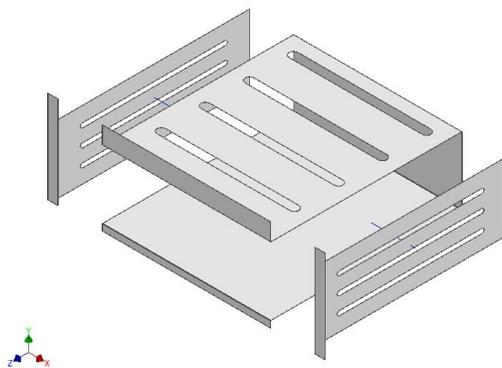
4. Estructura interna

Para la construcción del interior, este se trabajó en poliestireno de alto impacto de 1 mm de espesor, el cual se puede someter a temperaturas cercanas a los $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ donde se puede moldear a través de dobleces. Cabe destacar que las caras laterales de dichas secciones poseen ranuras, las cuales se realizaron con ayuda de un Dremel con accesorio de fresa. El paso de ranuras se realizó antes del doblado final.

Figura 27: Fabricación de estructura interna



Para esto se separó la estructura en 2 secciones, superior e inferior. Cada una de estas secciones se divide 3 partes, 2 paredes laterales y la cara más grande al cual abarca la cara trasera, superior e inferior.



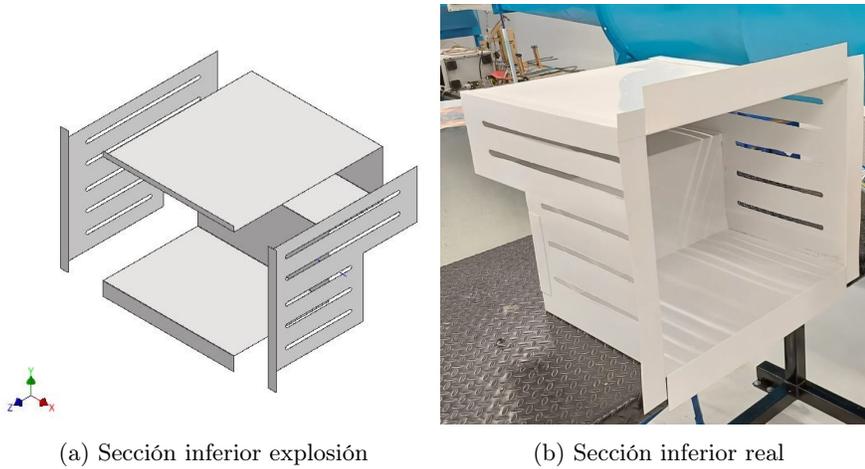
(a) Sección superior explosión



(b) Sección superior real

Figura 28: Sección superior

Para unir las caras se empleo pegamento de acrílico, este nos permite fijar las piezas, el cual posteriormente se selló con silicona para cocina esto para reafirmar las uniones entre paredes y proveer cierta hermeticidad entre paredes.



(a) Sección inferior explosión

(b) Sección inferior real

Figura 29: Sección inferior

Figura 30: Sellado de interior



Adicional a estas paredes, se generó una estructura para dividir la sección inferior y una base para sujetar el ventilador interno que se encontrará en la sección superior, el cual recirculará el aire del interior hacia el evaporador para tener una temperatura homogénea en todo el interior.

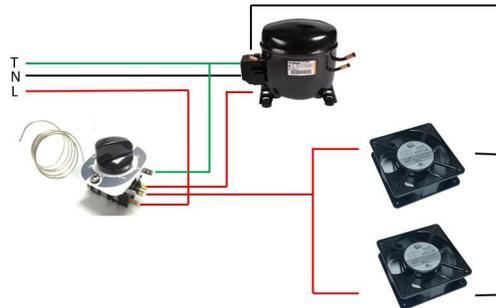
Figura 31: Posición de ventilador



5. Construcción ciclo térmico

El primer paso a llevarse a cabo para el ciclo de refrigeración fueron las conexiones eléctricas, las cuales controlaran al compresor y los ventiladores, los cuales serán accionados a través del termostato electromagnético. Las conexiones siguen el esquema que se observa en la Figura 32.

Figura 32: Esquema eléctrico



El ciclo térmico consta de 4 componentes principales como se mencionó con anterioridad, estos 4 se unen a través de tubería de cobre soldada con varilla de plata y gas Mapp. Iniciando el proceso, se procedió a posicionar tanto el compresor como el condensador en su ubicación final, esto para poder determinar la posición de la tubería de cobre de unión y la posición de la válvula de expansión.

Figura 33: Corte tubería de cobre

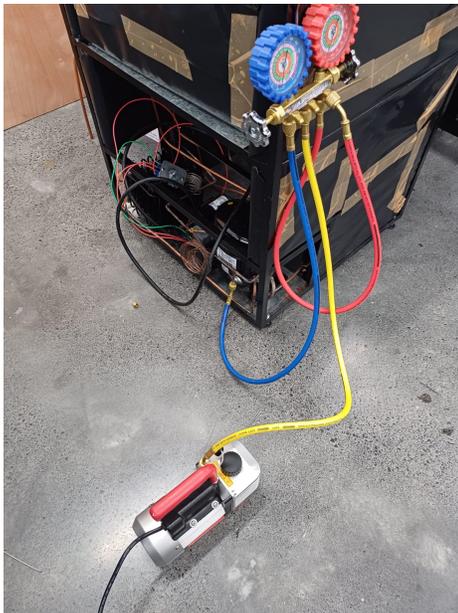


Con las uniones ya cortadas, se procede a realizar las soldaduras de las mismas. Se recomienda soldar la mayor parte de piezas fuera de la estructura para garantizar que la soldadura cubra toda la unión para evitar fugas.

Figura 34: Soldadura tubería de cobre



Con todos los componentes soldados y las conexiones eléctricas, se procede a realizar una prueba de fugas. Esta prueba consiste en generar un vacío dentro de la tubería. Esto nos permite 2 cosas, el primer objetivo es eliminar la humedad del sistema, la cual es una consecuencia del aire que quedó encapsulado dentro de la tubería en el proceso de soldadura; el segundo motivo es verificar si hay fugas.



(a) Configuración para prueba de vacío



(b) Vacío generado

Figura 35: Prueba de vacío

Como se puede observar en la Figura [35b](#) se logró un vacío en la tubería de 20 pulgadas de Mercurio. Este sistema se dejó tal y como estaba por un par de horas para luego corroborar

nuevamente el manómetro. En este caso se presentó una fuga ya que el sistema regreso a presión ambiente. Se procedió a localizar las fugas con ayuda de un compresor, en este caso se realizó el proceso contrario aumentando la presión del sistema para visualizar las pérdidas de aire.

Selladas las soldaduras se realizó nuevamente la prueba de vacío, la cual salió exitosa. Finalmente se rellenó el sistema con refrigerante R134a. En este caso se optó por relleno en operación. Este consiste en controlar el consumo en Amperes del compresor con la inyección de refrigerante al sistema, el compresor seleccionado tiene un consumo de 2.5 Amperes como consumo nominal.

Figura 36: Carga de refrigerante



con la inyección de refrigerante se termina el ciclo de refrigeración para su puesta en marcha.

6. Ensamble final

Finalmente, se realiza el ensamble final de la refrigeradora, donde se coloca el resto de aislante y se inserta el interior dentro de la refrigeradora. Posteriormente, se fijan las caras laterales de acero galvanizado a través de remaches de 3/16 in x 1/4 in y se sella con silicona el interior y la lámina.

Colocadas las piezas principales se procede a incorporar el sello de goma, el cual será el encargado de la hermeticidad de las puertas. Esto reducirá el tiempo de uso del ciclo de refrigeración, así como de aumentar el tiempo de conservación de temperatura. En este caso se empleo una tira de goma de 1 cm de espesor con imanes de neodimio en cada puerta, esto para mantener cerradas las puertas. Cabe destacar que no se utilizó la cinta tradicional de refrigeradora debido a su elevado costo.

Con las puertas ya terminadas se colocaron en su posición con ayuda de las bisagras, estas inicialmente se realizaron en impresión 3D de PLA (Ácido Poliláctico), pero en pruebas preliminares este se empezaba a debilitar y se podría llegar a romper por lo cual se elaboraron en aluminio.

A continuación se puede observar el modelo final.



(a) Resultado final, interior

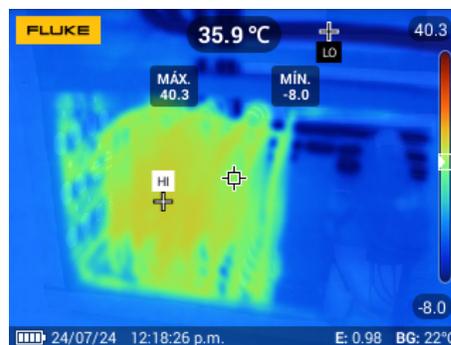
(b) Resultado final, exterior

Figura 37: Refrigeradora, modelo final

Resultados

Como primer resultado se quiere corroborar la similitud entre el ciclo teórico de refrigeración y los resultados obtenidos a través de la práctica. Esto nos permitirá visualizar las condiciones de trabajo reales y establecer los límites de funcionamiento del dispositivo. En este caso se planteó una temperatura del evaporador de -8°C y una temperatura de 35°C para el condensador. En la Figura 38 se observan las condiciones iniciales a través de una cámara termográfica.

Figura 38: Parámetros de funcionamiento de ciclo de refrigeración



Además de verificar las condiciones de trabajo del ciclo se quiere corroborar el funcionamiento del mismo. Para esto se realizó una prueba de temperatura interna, la prueba se realizó por medio de un sensor de temperatura DHT 11 el cual es compatible con una placa arduino. A través de la siguiente prueba se quiere observar el comportamiento de la temperatura interna a lo largo del tiempo. Para realizar la prueba se colocó el sensor como se muestra en la Figura 39. La ubicación del sensor tiene como objetivo medir la temperatura en el punto más alejado del evaporador, esto como el punto en con menor intercambio de

calor.

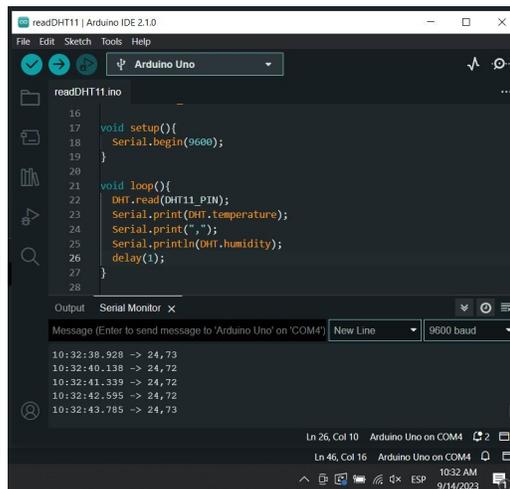
Figura 39: Colocación sensor de temperatura



Para dicha prueba además se controló el espacio circundante por medio de aire acondicionado en la sala donde se realizaron la prueba. En este caso se estableció la temperatura ambiente a 24°C como se observa en la Figura 40a.



(a) Ambiente controlado, prueba de enfriamiento



(b) Recopilación de datos

Figura 40: Prueba de enfriamiento

Esta prueba tuvo una duración de aproximadamente de 1 hora con 45 minutos, en donde se evaluaron diferentes modos de funcionamiento y se extrajeron los siguientes datos.

Figura 41: Datos extraídos prueba de enfriamiento



De el total de datos recabados se analizaron 4 escenarios. El primer escenario contempla el enfriamiento de temperatura ambiente a temperatura de 4°C. La segunda prueba tenía el objetivo de medir el tiempo que toma en subir la temperatura con el ciclo apagado y con ventilador encendido. En la tercera parte se analiza la temperatura interna más baja que se puede tener en el interior de la refrigeradora. Por último, se calcula nuevamente el tiempo para elevar la temperatura del interior pero a diferencia de la segunda prueba el ventilador se encuentra apagado.

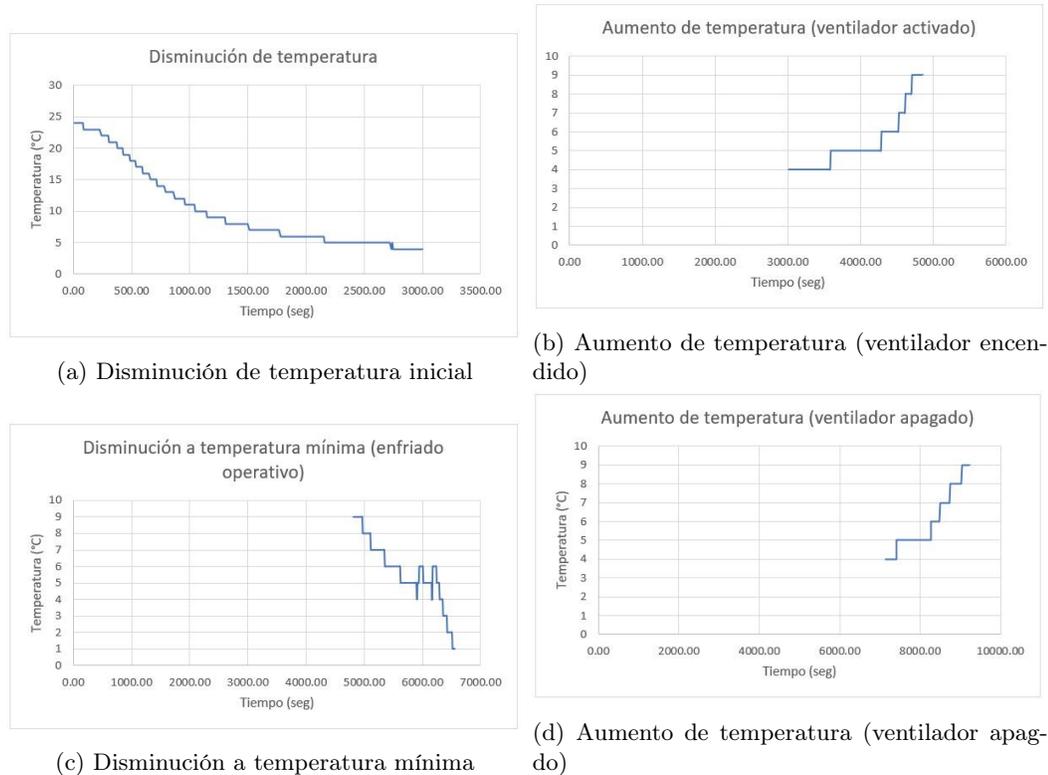


Figura 42: Análisis de datos, prueba de enfriamiento

Utilizando estas gráficas y los tiempos de enfriado y calentamiento se procede a calcular

un estimado del costo de operación de la refrigeradora. Cabe destacar que debido al objetivo de reducir el costo de operación se utilizarán los datos en donde el ventilador interno se activa únicamente al activarse el ciclo de refrigeración.

En primer lugar se toma como tiempo promedio de enfriamiento ($9^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C}$) 460 segundos. El tiempo de calentamiento ($4^{\circ}\text{C} - 9^{\circ}\text{C}$) es de aproximadamente 2,080 segundos. Con estos valores se tiene que un ciclo de operación toma 2,540 segundos en completarse. Realizando mediciones de el consumo de los dispositivos se obtiene un valor 2.9 amperes (2.5 amperes de compresor y 0.2 amperes por ventilador) a una tensión de 110 Voltios, por lo cual la potencia es de 319 Watts. La potencia nominal del ciclo es mayor al prototipo anterior en parte por la incorporación de los ventiladores.

Teniendo en cuenta el número de ciclos diarios, el cual es de 34 ciclos en un día y el tiempo del ciclo activado. Se determina que los componentes están encendidos 4.25 horas por día. Con ayuda de la potencia se determina un gasto energético de 1.35 kWh diarios, lo cual al mes representa 40.67 kWh. A precio del mes de julio de 2023 en donde el costo por kWh es de Q. 1.38 se tiene un costo de operación de Q. 56.12. Este es un consumo mayor al del ECOFRIGO 18 el cual es de Q. 25.3 al mes.

Analizando la operación de la refrigeradora se quiere observar como sus diferentes elementos se comportan durante la operación.

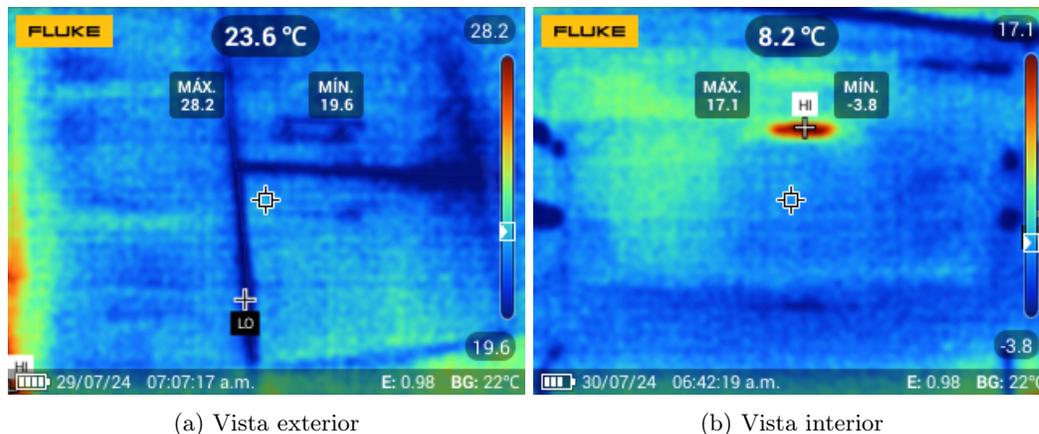


Figura 43: Comportamiento refrigeradora

De el comportamiento exterior en la Figura [43a](#), se observa una filtración de frío sobre las puertas justo en el borde de cada una, esto nos puede indicar filtración de aire y en su caso falta de hermeticidad en puertas.

Adicional se quiere presentar los costos de fabricación de el modelo, para lograr esto se separó el modelo en el ciclo térmico y en materiales de construcción.

Cuadro 12: Costos de fabricación, ciclo térmico

producto	Precio Unitario (Q.)	Cantidad	subtotal (Q.)
Compresor (Embraco FFU80HAK)	815.00	1	815.00
Evaporador (cobre flexible 1/4in x 50 ft)	180.00	1	180.00
Condensador (1/4 HP)	310.00	1	310.00
Tubo capilar (0.042 in x 100 ft)	165.00	0.143	23.60
Válvulas de carga	5.00	2	5.00
Varillas de plata	2.30	3	6.90
Termostato	55.00	1	55.00
Cable TSJ (3x14)	14.20	2 metros	28.40
Cable calibre 14	2.58	4.5 metros	11.61
Ventiladores	40.00	2	80.00
Total			1,520.51

Cuadro 13: Costos de fabricación, materiales de construcción

producto	Precio Unitario (Q.)	Cantidad	subtotal (Q.)
Lámina galvanizada (No. 24)	150.00	1.3	199.50
Poliestireno de alto impacto (1 mm)	110.00	1.3	146.30
Poliestireno expandido (2 in)	30.00	4	120.00
Perfil Angular (3/4 x 1/8)	67.25	2	134.50
Nylon	9	2 yardas	18.00
Remaches	0.25	28	7.00
Tornillos	1.00	10	10.00
Silicón blanco	41	1	41.00
Tira de espuma (1 cm x 6 m) 14	45.00	1	45.00
Cojinetes	6	6	36
Total			757.30

Lo cual representa un costo total de fabricación de Q. 2,277.81 a un costo de minorista, por lo cual este disminuirá para una producción en masa, planteando relaciones con proveedores. En comparación de ECOFRIGO 18 los cuales gastaron aproximadamente Q. 1,800, se tiene una diferencia de Q. 477.81, en este caso los costos de materiales de construcción se disminuyeron aunque se aumentaron los costos del ciclo de refrigeración, esto puede ser una consecuencia del aumento de costos en ciertos dispositivos, principalmente el compresor en donde la diferencia de costo es de Q. 278.00.

Además de lo antes mencionado se verifica el cumplimiento de los requisitos establecidos. Esto se detalla en el cuadro

Cuadro 14: Cumplimiento de requisitos

Código	Requisito	Cumplimiento
Fun-01	El refrigerador debe ser capaz de disminuir su temperatura interna de hasta 2° Centígrados.	Sí
Fun-02	La temperatura debe poseer 3 opciones de operación (2°, 3° y 4° Celsius).	Sí
Fun-03	La temperatura del espacio refrigerado debe ser homogénea.	Sí
Fun-04	El espacio interno debe presentar diferentes configuraciones para la distribución de alimentos y colocación de los mismos.	Sí
Fun-05	El encendido de los diferentes componentes debe ser automático.	Sí
Fun-06	Debe ser capaz de operar en ambientes de hasta 30° Centígrados de temperatura ambiente.	Sí
Dis-01	Los materiales empleados deben ser resistentes a la corrosión.	Sí
Dis-02	Los materiales empleados deben ser no tóxicos y de grado alimenticio.	Sí
Dis-03	La geometría externa de la refrigeradora debe carecer de bordes filosos.	Sí
Dis-04	El mantenimiento debe ser menor, con facilidad de que cualquier persona lo pueda realizar.	Sí
Dis-05	Debe tener un consumo máximo de 30 kWh.	No
Dis-06	Debe tener un espacio refrigerado de al menos 1.5 pies cúbicos, para cada uno de los compartimientos.	Sí
Tec-01	La refrigeradora debe operar con 110V y 60 Hz.	Sí
Tec-02	Debe operar con refrigerante R134-a.	Sí
Tec-03	La refrigeradora debe ser hermética.	No
Tec-04	Se debe aislar la tubería de cobre para evitar condensación.	Sí
Tec-05	El aislante debe estar protegido de la humedad.	Sí

Discusión de resultados

Dado que la mayoría de los resultados esperados fueron satisfactorios y estos cumplen con el propósito principal del proyecto, el cual era la implementación de mejoras al prototipo realizado en la Universidad del Valle de Guatemala, ECOFRIGO 18, enfocado en fabricación y uso de materiales.

En cuanto a resultados específicos relacionados con a los requisitos se deben considerar ciertas variaciones en los resultados esperados y la raíz de los mismos.

En primer lugar se presenta el caso de funcionamiento general de la refrigeradora. Bajo las condiciones en las cuales se realizaron los experimentos y se recabaron los resultados, se tiene una mejora en las condiciones exteriores donde se puede utilizar la refrigeradora. En este caso se observa que esta puede ser utilizada en temperaturas exteriores de hasta 35°C, superando la expectativas esperadas.

Además, se observa que la temperatura interna puede descender hasta temperaturas por debajo de 2°C. En este caso nuevamente se superan las expectativas pero esto puede tener un efecto negativo sobre algunos alimentos, ya que a temperaturas por debajo de 1°C algunos alimentos pueden empezar a presentar cristalización lo cual puede disminuir la calidad de los alimentos almacenados (Martin, 2015). Analizando las razones de estos se observa que el termostato electromecánico utilizado presenta un rango de 5.7 a -11.8 °C, esto dificulta el control de la temperatura de desactivación del sistema al operar en rangos debajo de los 0°C. De igual manera se observa que la posición del termostato puede afectar la correcta medición, esto debido a la disipación de calor de los diferentes componentes cercanos a la resistencia, como lo sería el compresor y al medio ambiente circundante, ya que este depende de la conductividad térmica del material. En dispositivos comerciales este se ubica al interior del espacio refrigerado: No se realizó de esta manera para evitar el control de la temperatura por un solo individuo que este empleando la refrigeradora.

Otro de los datos que son relevantes es la baja temperatura que se observa en las puertas en la Figura 43a, ya que esto puede significar fugas de aire frío al ambiente lo cual aumenta el consumo energético. Realizando un análisis de la construcción del modelo y lo que puede estar ocurriendo en esta sección, se presentan dos observaciones claves. La primera observación se da respecto al método de construcción de las puertas, ya que al utilizar un método de doblado de lámina se presenta un efecto rebote de la lámina en si, lo cual no nos permite tener una superficie completamente plana, esto dificulta un sello hermético en cada una de las puertas.

De igual manera se observa que no solo en el sello se presenta una baja temperatura, sino en la lámina de las puertas. Esto se puede deber a un puente térmico. Debido a que la lámina es una pieza única y parte de esta se encuentra en contacto directo con el interior de la refrigeradora por medio de conducción la lámina exterior se empieza a enfriar. Esto presenta un efecto negativo en el intercambio de calor con el exterior y puede nuevamente afectar nuestro consumo energético.

Otro de los factores que se consideraron en el análisis, fue la presencia de dispositivos internos y su funcionamiento, principalmente el ventilador. Inicialmente se planteó esta mejora para aumentar la circulación de aire con el objetivo de lograr homogeneidad en todo el interior. En este caso este si logró su objetivo durante la operación del ciclo ya que el calor generado por este dispositivo es contrarrestado por el ciclo. Al momento de dejar de enfriar este si representa una ganancia de calor adicional, por lo cual se analizó el efecto de el ventilador cuando el ciclo no opera. En este caso se determinó que el ventilador debe únicamente operar mientras el compresor este activo. Esto para aumentar el tiempo de calentamiento del interior y para reducir costos en la operación de la refrigeradora. Ya que la operación de este ventilador durante todo un mes representa un costo de Q. 21.85.

Dejando de lado el funcionamiento del mismo y las ventajas y desventajas que se presentaron, el diseño de la refrigeradora cambio en relación al prototipo anterior (ECOFRIGO 18). En el diseño generado se quiere presentar mejor relación con el usuario, así como mejoras en la construcción del mismo. En primer lugar se aumentó la capacidad total utilizable en un 50% llegando a 4.8 ft^3 . Adicionalmente, se redujo el espacio no utilizable destinado al ciclo de refrigeración. Algunos otros cambios se relacionan a posibles fuentes de accidentes y de seguridad en los prototipos anteriores, estos se observan en la ubicación y tipo de condensador, ya que al ser un dispositivo que opera bajo temperaturas arriba de 30°C puede ser una fuente de quemaduras leves y al estar expuesto puede ser dañado fácilmente y provocar liberación de refrigerante. Además bajo construcción de doblado de lámina, si bien no elimina completamente los filos, los bordes presentan un ligero redondeo que protege al individuo de golpes filosos.

En relación al prototipo anterior se presentan ciertas ventajas como el uso de hasta por 3 familias, por lo cual el costo de utilización por individuo tiene una reducción de Q. 5.2 en comparación al ECOFRIGO 18, cabe destacar que esta reducción también es consecuencia de la reducción de espacio para cada individuo.

En la fabricación del prototipo se observaron mejoras al implementar técnicas de fabricación adecuadas y utilizadas en la industria de la refrigeración además de una mejora en los materiales implementados y su mejor relación con los usuarios.

A continuación se presentan las conclusiones derivadas de la ejecución del proyecto.

1. El prototipo consta de materiales los cuales son aprobados por la FDA para el contacto directo o indirecto con alimentos. Estos materiales son poliestireno de alto impacto y acero galvanizado.
2. La refrigeradora cumple con las condiciones de trabajo especificadas, siendo un dispositivo que puede operar a una temperatura ambiente de hasta 35°C con una temperatura interna de 2°C.
3. El rediseño tiene como puntos más importantes el aumento del espacio para refrigeración en un 50 % , así como la reducción del espacio muerto para componentes.
4. El dispositivo consta de homogeneidad en su interior, en cada uno de sus 3 espacios disponibles. Esto tomando como parámetro la temperatura interna de cada compartimiento a través de una cámara termográfica donde se observa la consistencia de temperatura para 4°C en el espacio refrigerado.
5. Basado en los resultados obtenidos de las pruebas en ciclos de enfriamiento y calentamiento, se determinó que la carga térmica disminuyó de manera proporcional al aumento del espacio refrigerado, resultando en la disminución de ciclos de activación por hora, siendo esta una activación de aproximadamente 20 minutos, por 40 minutos en reposo.

Recomendaciones

En relación a lo observado en los resultados, se presentarán ciertos puntos de mejora que pueden ser considerados en el siguiente análisis.

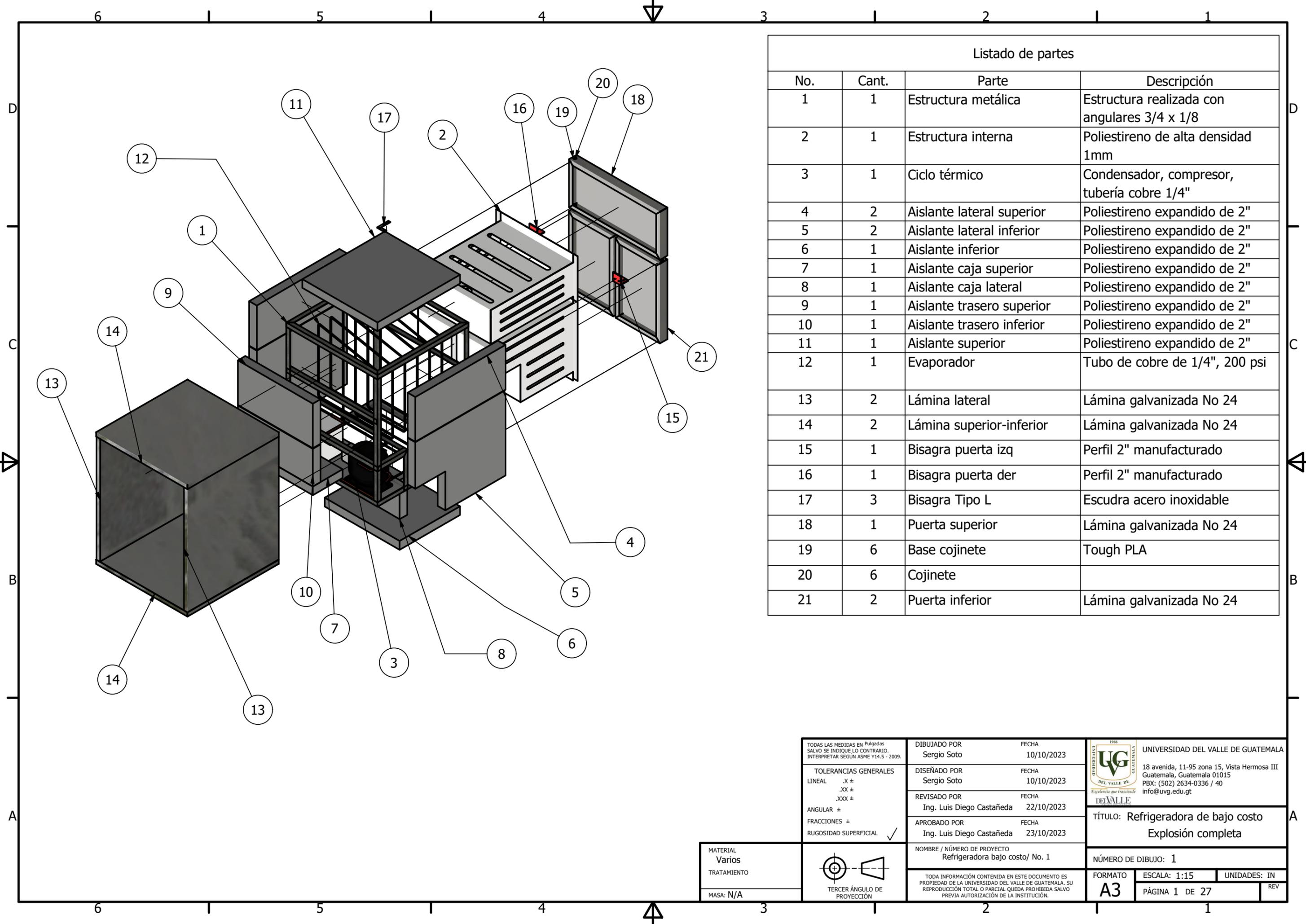
1. En la construcción de las puertas se recomienda analizar los materiales y la técnica debido a efecto rebote de lámina, así como un fenómeno de puente térmico que puede eliminar eficiencia al ciclo.
2. Crear soluciones en relación al condensado que puede ocasionarse en parte del sistema que si están expuestas al aire exterior, este condensado puede provocar algún error en el sistema eléctrico.
3. Cambiar la ubicación del termostato a una posición más aislada donde los componentes no pueden llegar a afectar las mediciones de este. Además, se podría considerar el uso de un termostato digital para garantizar mayor control sobre las temperaturas de operación.

- American Galvanizers Association. (2011). Zinc Coating. https://galvanizeit.org/uploads/publications/Zinc_Coatings.pdf
- American Iron and Steel Institute. (2020). Stainless Steel for machining. Nickel Institute. https://nickelinstitute.org/media/4662/ni_aisi_9011_machining.pdf
- Barillas, R., & Martínez, E. (2018). Fabricación de prototipo de refrigeradora de bajo costo enfocado en las necesidades de las personas de la aldea El Platanar. <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/3380>
- Cengel, Y., & Boles, M. (2014). *Termodinámica* (8.^a ed.). Mc Graw Hill.
- Chemours. (2015). Freon 134a automotive refrigerant. <https://www.freon.com/es/-/media/files/freon/freon-134a-product-information.pdf?rev=c1c8d6f1c66441fd872f74a0580e0e70>
- Chemours. (2016). Freon 410a (Refrigerant R410a). <https://www.freon.com/es/-/media/files/freon/freon-410a-product-information.pdf?rev=5106190724b440d890555068cc7adc1b>
- Curbell plastics. (2022). High Impact Polystyrene. <https://www.curbellplastics.com/Research-Solutions/Materials/High-Impact-Polystyrene>
- Department of Agriculture and Consumer Services. (2012). Acceptable meat and poultry equipment guidelines. <https://www.ncagr.gov/MeatPoultry/pdf/Acceptable%20GuidelinesPhone.pdf>
- Embraco. (2016). LBP, MBP AND HBP APPLICATIONS. <https://refrigerationclub.com/lbp-mbp-and-hbp-applications/>
- Embraco. (2020). Línea de compresores (catálogo 2020). <https://www.embraco.com/wp-content/uploads/2020/07/2020-catalogo-am-espanhol.pdf>
- Epsotech. (2019). PS HG1 C5. https://epsotech.com/files/content/product_finder/tds_documents/PS%5C%20HG1%5C%20C5.pdf
- Euro inox. (2006). Stainless Steel in the Food and Beverage Industry. https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/StSt_in_FoodandBeverage_EN.pdf
- Federation of European Rigid polyurethane Foam association. (2006). Thermal insulation materials made of rigid polyurethane foam (PUR/PIR). https://www.pu-europe.eu/fileadmin/documents/Reports_public/BING_TECH_REP_on_Thermal_insulation_materials_made_of_rigid_polyurethane_foam.pdf

- Food and Drug Administration. (2013). Food Code. <https://www.fda.gov/media/87140/download>
- Ghajar, A., & Cengel, Y. (2011). *Transferencia de calor y masa* (4.^a ed.). Mc Graw Hill.
- HARSLE. (2019). How to bend Stainless steel sheets metal parts. <https://www.harsle.com/How-to-bend-stainless-steel-sheet-metal-parts-id3164854.html>
- INE. (2019). Resultados censo 2018, tabla B5. <https://www.censopoblacion.gt/explorador>
- Lien Chy metal. (s.f.-a). COLORED STEEL, PRE-FINISHED STEEL, CLADDED METAL OR VINYL CHLORIDE COATING METAL (VCM). https://www.lienchy.com/LAG/category/VCM/category_PVC-pre-coated-metal.html
- Lien Chy metal. (s.f.-b). COLORED STEEL, PRE-FINISHED STEEL, CLADDED METAL OR VINYL CHLORIDE COATING METAL (VCM). https://www.lienchy.com/LAG/category/VCM/category_PVC-pre-coated-metal.html
- Lienhard, J. (2020). *A heat transfer textbook* (Quinta). Phlogiston Press.
- Martin, F. (2015). Cambios y alteraciones en los alimentos durante el proceso de congelación (II). <https://www.restauracioncolectiva.com/n/cambios-y-alteraciones-en-los-alimentos-durante-el-proceso-de-congelacion-ii>
- Metinvest. (s.f.). Galvanized sheets. https://metinvestholding.com/Content/CmsFile/en/catalogues_coils_2017_rus%20web.pdf
- Modopack. (2020). Especificaciones técnicas poliestireno. <https://modopack.cl/wp/wp-content/uploads/2019/02/Informaci%C3%B3n-T%C3%A9cnica-Poliestireno-Planchas-y-Bloques.pdf>
- National Archives and Records Administration. (2021). 21, Food and drugs. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2021-title21-vol3/pdf/CFR-2021-title21-vol3.pdf>
- Rivas, A., Moreno, M., Sanchez, J., Canto, A., & Batista, M. (2018). Aislante térmico a base de materiales orgánicos. https://www.researchgate.net/publication/330695764_Development_of_a_thermal-insulation_based_on_organic_materials_-_Aislante_termico_a_base_de_materiales_organicos
- Roig, A. (2008). Materiales hechos a medida: aerogeles de sílice modificados orgánicamente UAB Barcelona. Consultado el 19 de octubre de 2022, desde [https://www.uab.cat/web?cid=1096481466568&pagename=UABDivulga%2FPage%2FPage%2FTemplatePageDetallArticleInvestigar¶m1=1202802813876](https://www.uab.cat/web?cid=1096481466568&pagename=UABDivulga%2FPage%2FTemplatePageDetallArticleInvestigar¶m1=1202802813876)
- Tanchain. (s.f.). Silica aerogel impregnated OX felt. https://www.tchaintech.com/PDETAIL/Flame-Retardant-Aerogel-Felt-Anti-pull-heat-insulation#pd_in_detail
- Tecumseh. (2012). Nueva línea de productos con enfoque a refrigeración comercial. https://www.tecumseh.com/globalassets/media/south-america/files/fic-frio-magazines/fic_frio_80_es.pdf
- Traco manufacturing. (2022). High Impact Polystyrene Facts, Specifications, Grades, and More. <https://tracomfg.com/material/high-impact-polystyrene/#:~:text=HIPS%20has%20a%20very%20low,it%20is%20relatively%20stable%20dimensionally.>
- United States Environmental Protection Agency. (2022). Substitutes in Industrial Process Refrigeration. <https://www.epa.gov/snap/substitutes-industrial-process-refrigeration>
- United States Environmental Protection Agency. (2021). Phasing Out HCFC Refrigerants To Protect The Ozone Layer. <https://www.epa.gov/ods-phaseout/phasing-out-hcfc-refrigerants-protect-ozone-layer>
- U.S. Food and Drug Administration (FDA). (2015). The Safety of Styrene-Based Polymers for Food-Contact. <https://www.plasticfoodservicefacts.com/wp-content/uploads/2017/10/Polystyrene-Report.pdf>

Whitman, B., Johnson, B., Tomczyk, J., & Silberstein, E. (2013). *Refrigeration & air conditioning technology* (Septima). Cengage Learning.

A. Planos



Listado de partes			
No.	Cant.	Parte	Descripción
1	1	Estructura metálica	Estructura realizada con angulares 3/4 x 1/8
2	1	Estructura interna	Poliestireno de alta densidad 1mm
3	1	Ciclo térmico	Condensador, compresor, tubería cobre 1/4"
4	2	Aislante lateral superior	Poliestireno expandido de 2"
5	2	Aislante lateral inferior	Poliestireno expandido de 2"
6	1	Aislante inferior	Poliestireno expandido de 2"
7	1	Aislante caja superior	Poliestireno expandido de 2"
8	1	Aislante caja lateral	Poliestireno expandido de 2"
9	1	Aislante trasero superior	Poliestireno expandido de 2"
10	1	Aislante trasero inferior	Poliestireno expandido de 2"
11	1	Aislante superior	Poliestireno expandido de 2"
12	1	Evaporador	Tubo de cobre de 1/4", 200 psi
13	2	Lámina lateral	Lámina galvanizada No 24
14	2	Lámina superior-inferior	Lámina galvanizada No 24
15	1	Bisagra puerta izq	Perfil 2" manufacturado
16	1	Bisagra puerta der	Perfil 2" manufacturado
17	3	Bisagra Tipo L	Escudra acero inoxidable
18	1	Puerta superior	Lámina galvanizada No 24
19	6	Base cojinete	Tough PLA
20	6	Cojinete	
21	2	Puerta inferior	Lámina galvanizada No 24

TODAS LAS MEDIDAS EN Pulgadas SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.		DIBUJADO POR Sergio Soto	FECHA 10/10/2023
TOLERANCIAS GENERALES LINEAL .X ± .XX ± .XXX ± ANGULAR ± FRACCIONES ± RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓		DISEÑADO POR Sergio Soto	FECHA 10/10/2023
		REVISADO POR Ing. Luis Diego Castañeda	FECHA 22/10/2023
		APROBADO POR Ing. Luis Diego Castañeda	FECHA 23/10/2023


UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
 18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III
 Guatemala, Guatemala 01015
 PBX: (502) 2634-0336 / 40
 info@uvg.edu.gt

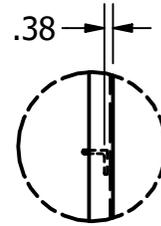
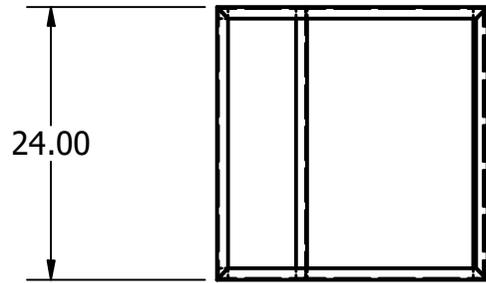
**TÍTULO: Refrigeradora de bajo costo
Explosión completa**

MATERIAL
 Varios
 TRATAMIENTO
 MASA: N/A

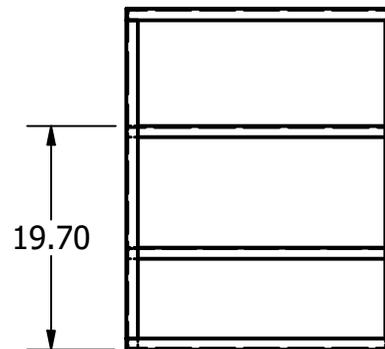
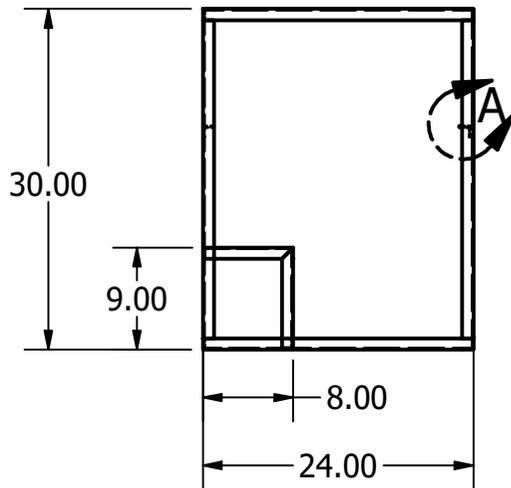
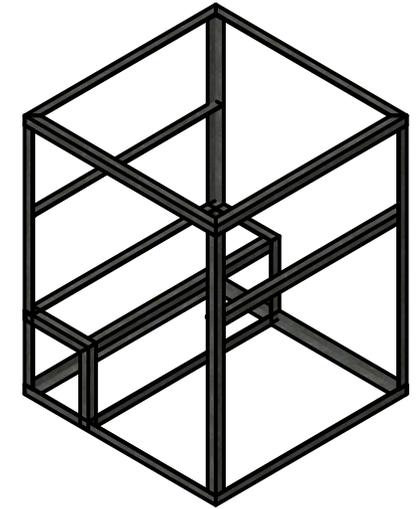


NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO
 Refrigeradora bajo costo/ No. 1
 TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.

NÚMERO DE DIBUJO: 1
 FORMATO: **A3**
 ESCALA: 1:15
 UNIDADES: IN
 PÁGINA 1 DE 27
 REV



DETAIL A
SCALE 1 / 8



TODAS LAS MEDIDAS EN Pulgadas SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.

TOLERANCIAS GENERALES

LINEAL .X ±
.XX ±
.XXX ±

ANGULAR ±

FRACCIONES ±

RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓

DIBUJADO POR	FECHA
Sergio Soto	10/10/2023
DISEÑADO POR	FECHA
Sergio Soto	10/10/2023
REVISADO POR	FECHA
Ing. Luis Diego Castañeda	22/10/2023
APROBADO POR	FECHA
Ing. Luis Diego Castañeda	23/10/2023
NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO	
Refrigeradora bajo costo/ No. 1	

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III
Guatemala, Guatemala 01015
PBX: (502) 2634-0336 / 40
info@uvg.edu.gt

TÍTULO: Estructura metálica

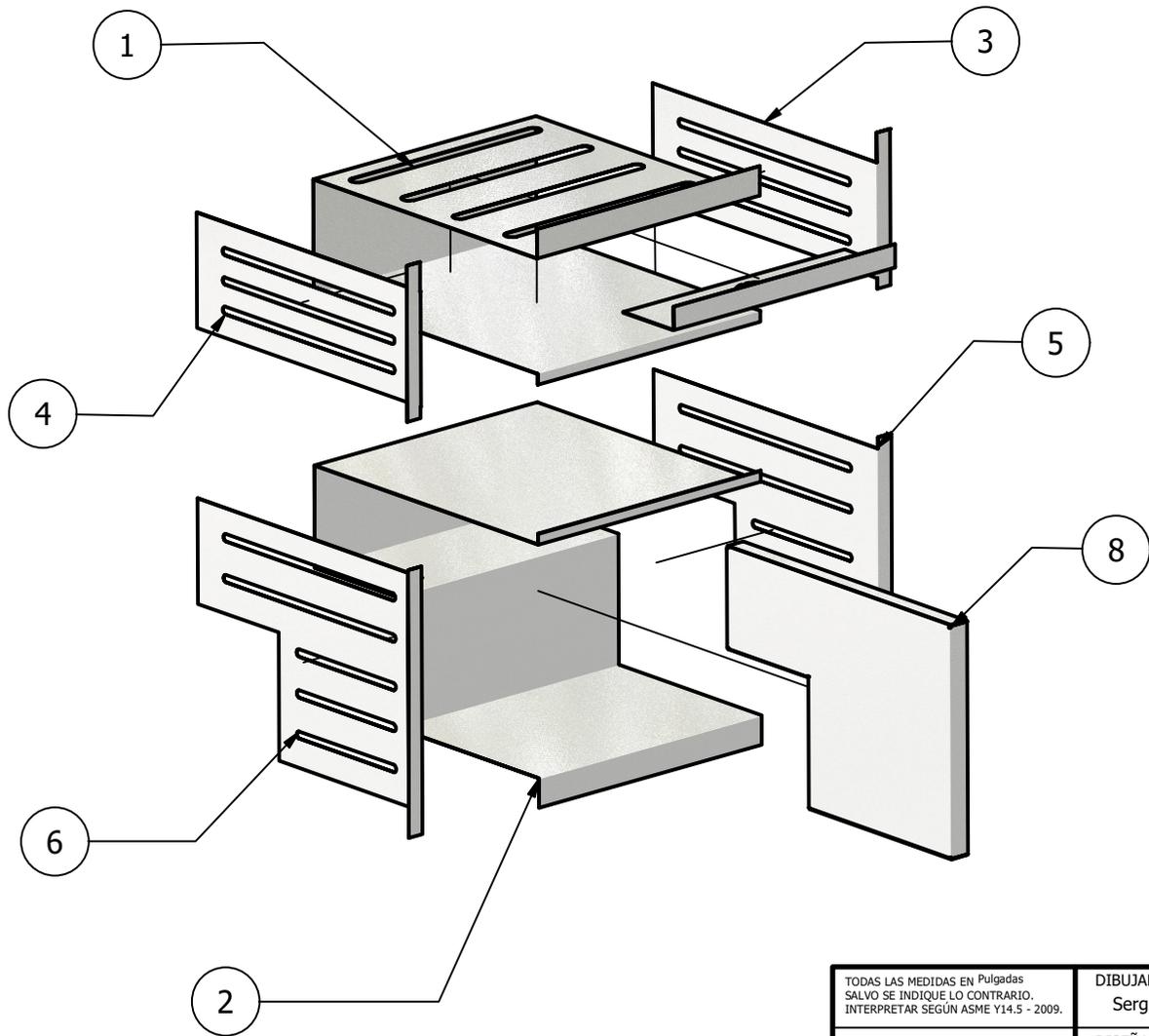
NÚMERO DE DIBUJO: 2

MATERIAL
Acero negro
TRATAMIENTO
MASA: N/A



TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.

FORMATO	ESCALA: 1:17	UNIDADES: IN
A4	PÁGINA 2 DE 27	REV



Lista de partes		
No.	Cant.	Parte
1	1	Almacenamiento superior
2	1	Almacenamiento inferior
3	1	Superior derecho
4	1	Superior izquierdo
5	1	Inferior derecha
6	1	Inferior izquierda
7	1	Cobertor ventilador
8	1	Divisor interior

TODAS LAS MEDIDAS EN Pulgadas
SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO.
INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.

TOLERANCIAS GENERALES

LINEAL .X ±
.XX ±
.XXX ±

ANGULAR ±

FRACCIONES ±

RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓

DIBUJADO POR Sergio Soto	FECHA 10/10/2023
DISEÑADO POR Sergio Soto	FECHA 10/10/2023
REVISADO POR Ing. Luis Diego Castañeda	FECHA 22/10/2023
APROBADO POR Ing. Luis Diego Castañeda	FECHA 23/10/2023
NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO Refrigeradora bajo costo/ No 1	

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III
Guatemala, Guatemala 01015
PBX: (502) 2634-0336 / 40
info@uvg.edu.gt

TÍTULO: Estructura interna

NÚMERO DE DIBUJO: 3

MATERIAL
Poliestireno HD

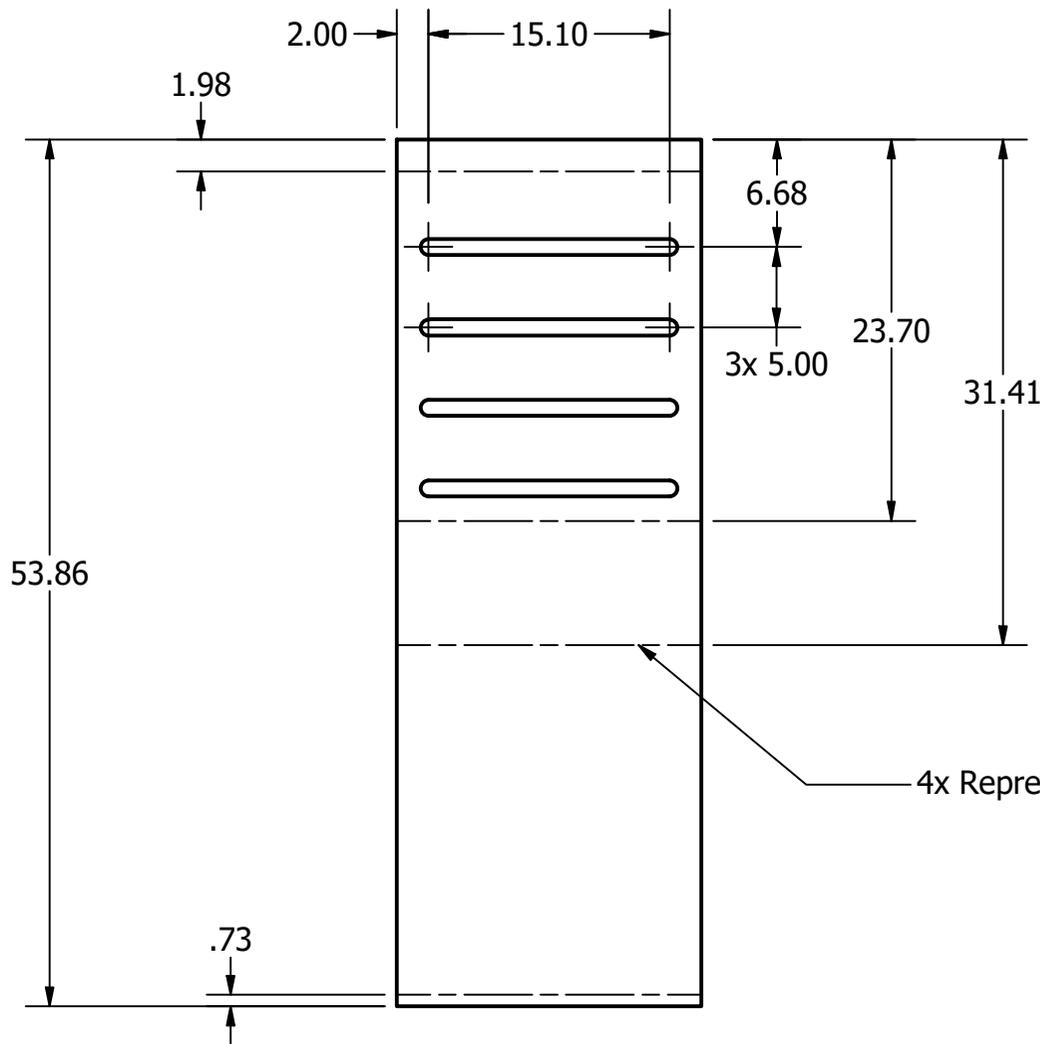
TRATAMIENTO

MASA: N/A

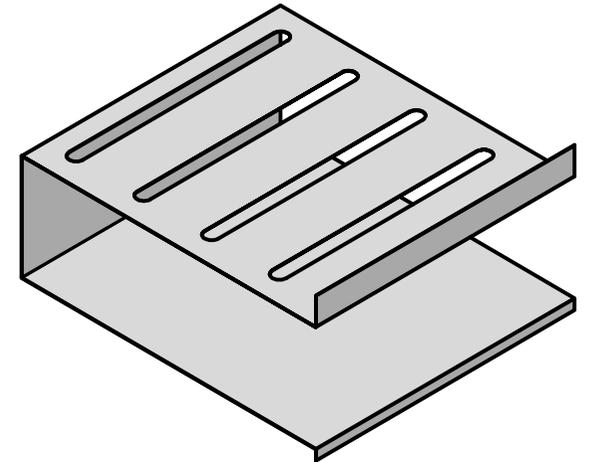


TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.

FORMATO A4	ESCALA: 1:12	UNIDADES: IN	REV
PÁGINA 3 DE 27			

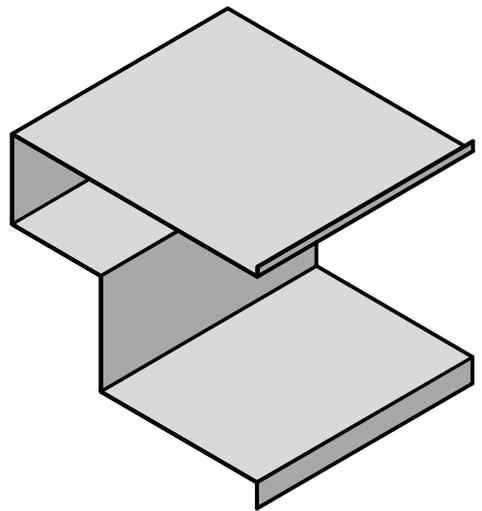
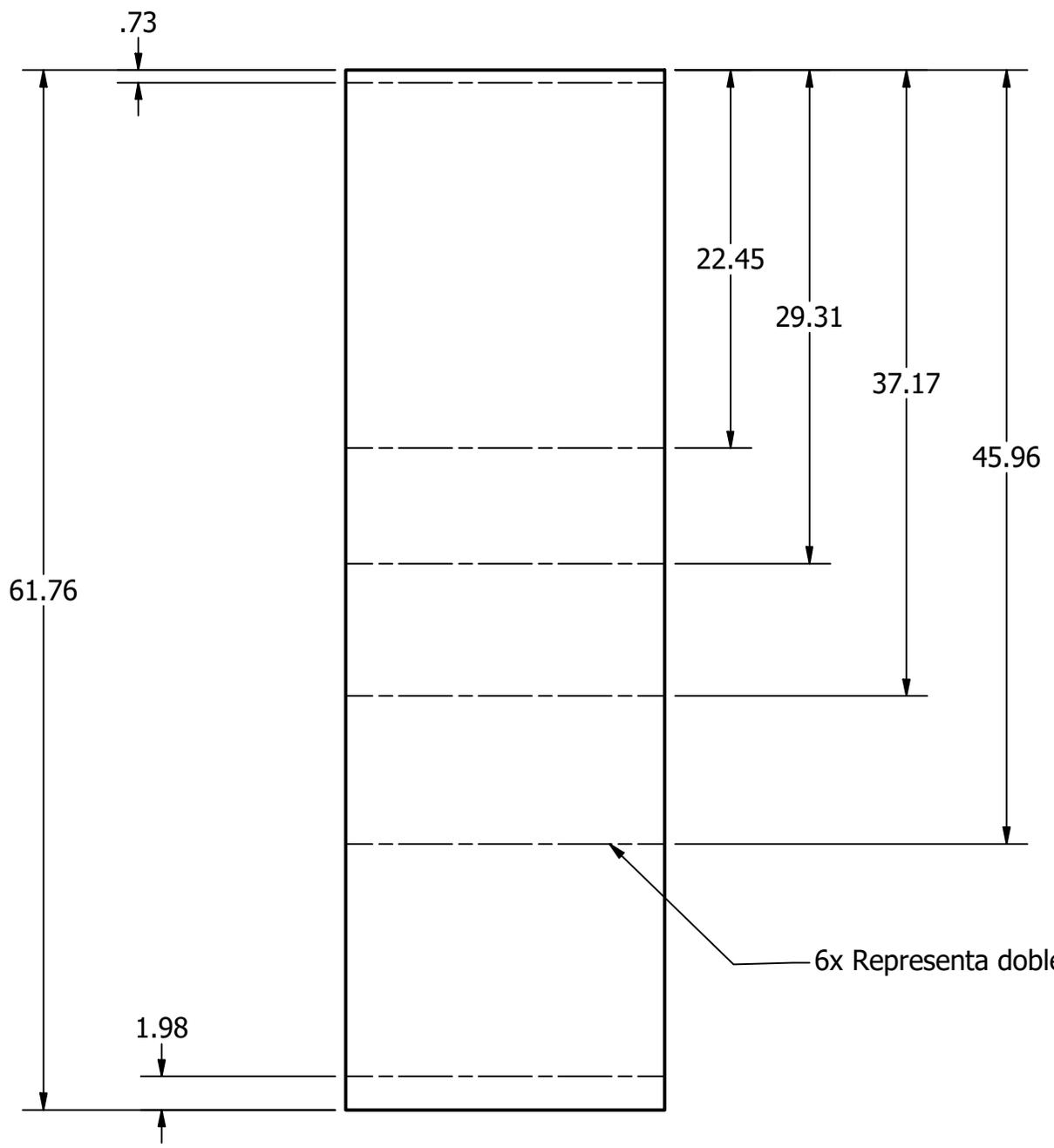


4x Representa dobleces de 90°



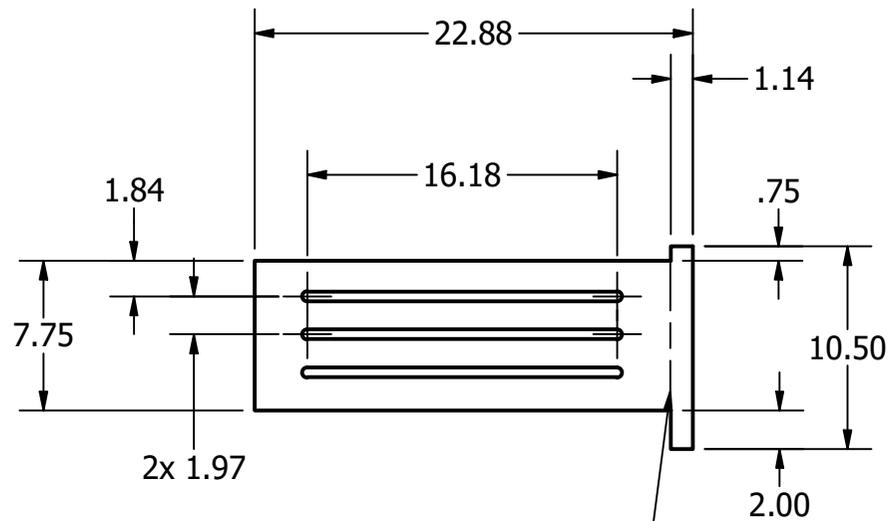
Nota: La pieza se fabricó con poliestireno de alto impacto de 1 mm de grosor

TÍTULO: Almacenamiento superior		
NÚMERO DE DIBUJO: 4		
FORMATO	ESCALA: 1/12	UNIDADES: in
A4	PÁGINA 4 DE 27	REV



Nota: La pieza se fabricó con poliestireno de alto impacto de 1 mm de grosor

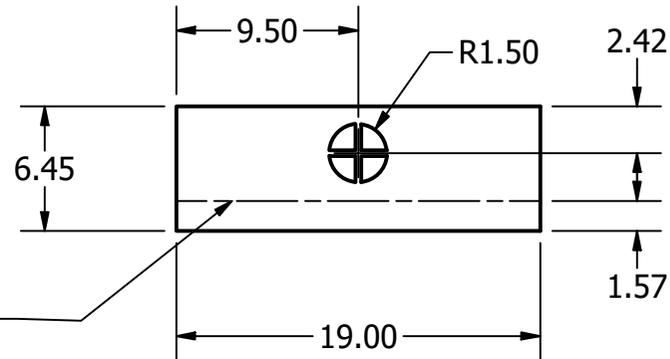
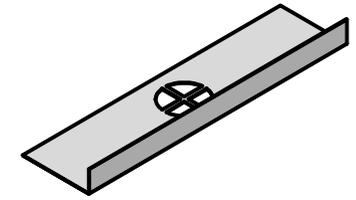
TÍTULO: Almacenamiento inferior		
NÚMERO DE DIBUJO: 5		
FORMATO	ESCALA: 1/10	UNIDADES: in
A4	PÁGINA 5 DE 27	REV



Representa dobléz a 90°

Nota: La pieza se fabricó con poliestireno de alto impacto de 1mm de grosor.
 Nota No. 2: La geometría es utilizada para la fabricación de la cara izquierda, cambiando el sentido del dobléz.

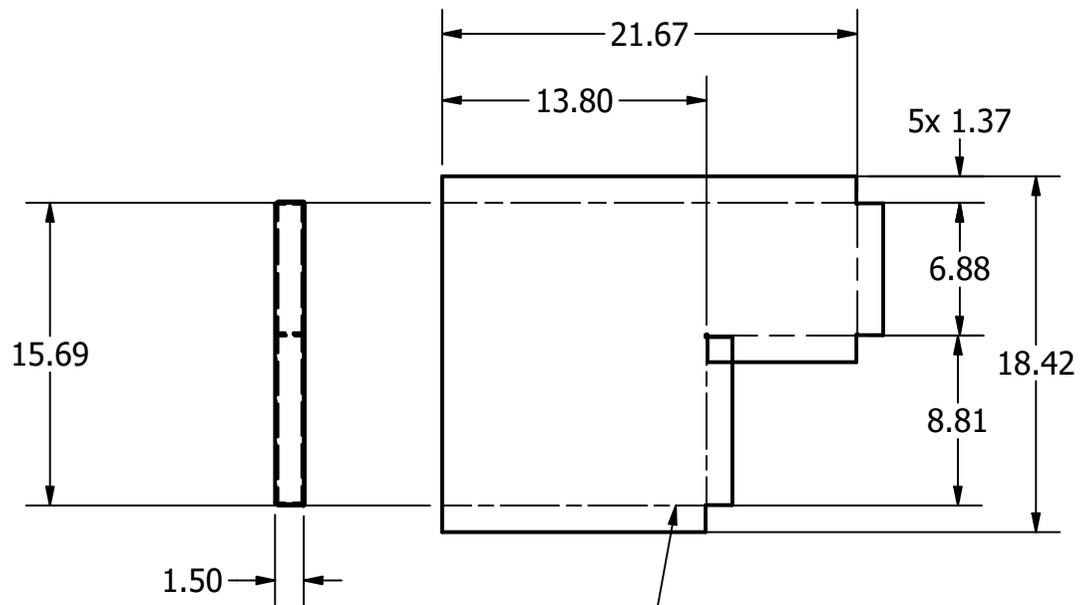
TÍTULO: Cara lateral derecha Almacenamiento superior		
NÚMERO DE DIBUJO: 6		
FORMATO	ESCALA: 1/10	UNIDADES: in
A4	PÁGINA 6 DE 27	REV



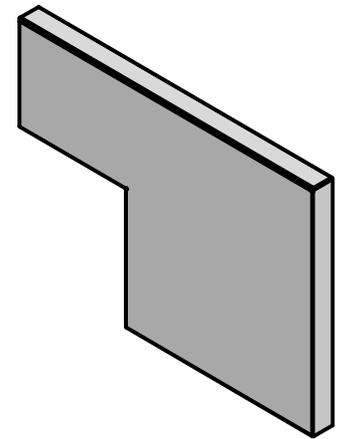
Representa un dobléz de 90°

Nota: La pieza se fabricó con poliestireno de alto impacto de 1mm de grosor.

TÍTULO: Cobertor ventilador			
NÚMERO DE DIBUJO: 8			
FORMATO	ESCALA: 1/10	UNIDADES: in	
A4	PÁGINA 8 DE 27		REV

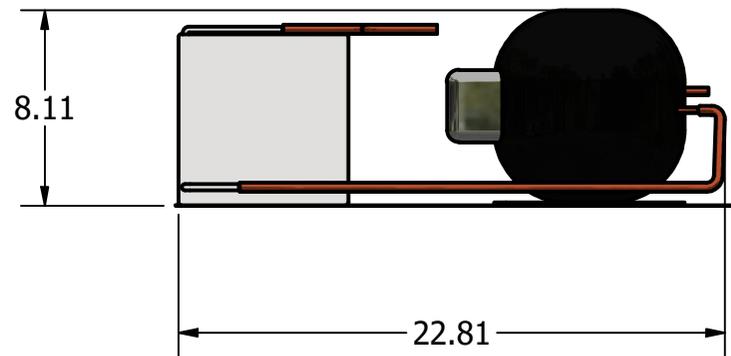


Representa dobleces a 90°



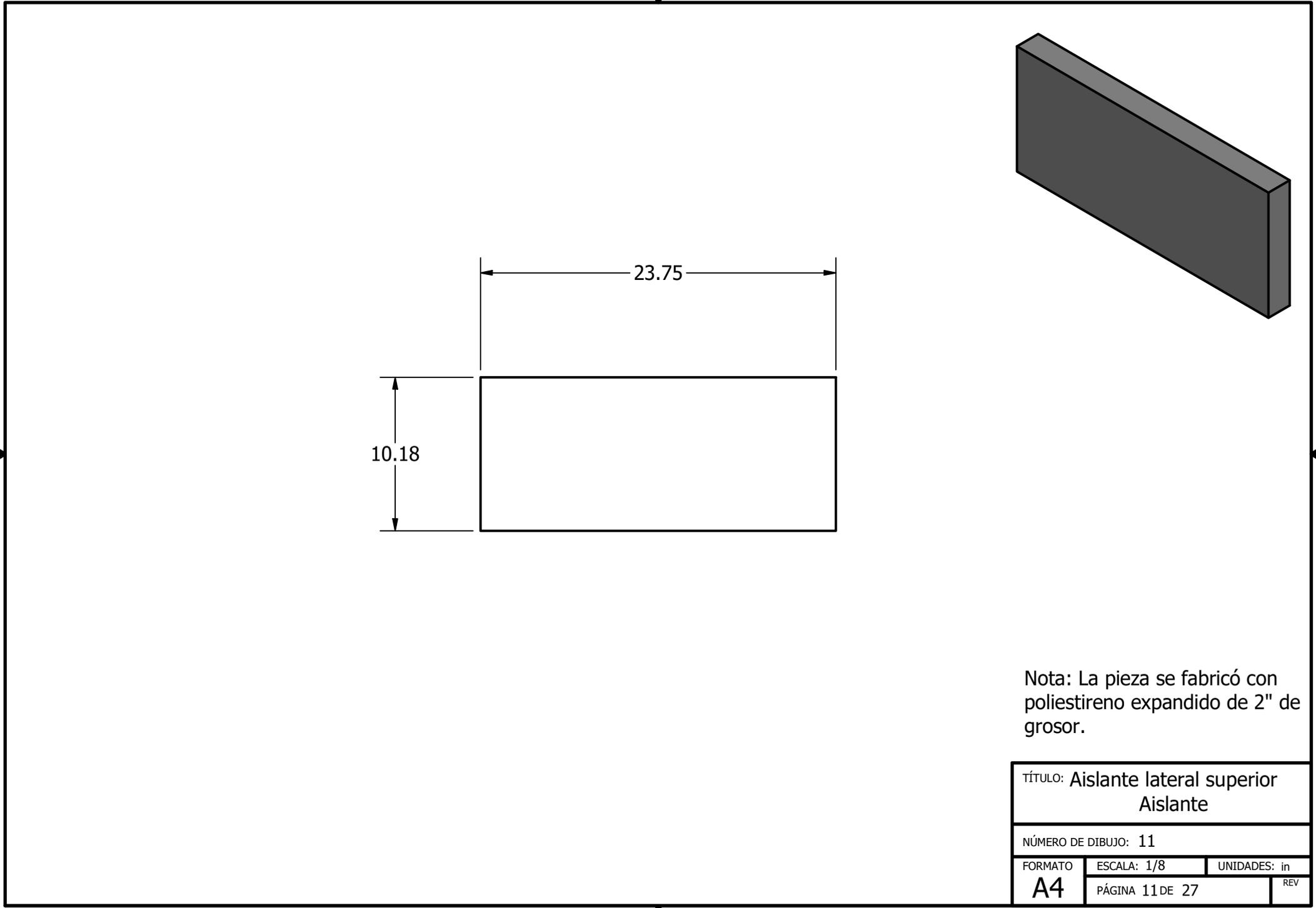
Nota: La pieza se fabricó con poliestireno de alto impacto de 1mm de grosor.

TÍTULO:		Divisor	
		Almacenamiento inferior	
NÚMERO DE DIBUJO: 9			
FORMATO	ESCALA: 1/10	UNIDADES: in	
A4	PÁGINA 9 DE 27		REV



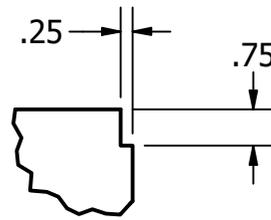
Nota: Representación de la posición de los elementos que conforma el ciclo térmico

TÍTULO:		Ciclo térmico	
NÚMERO DE DIBUJO: 10			
FORMATO	ESCALA: 1/8	UNIDADES: in	
A4	PÁGINA 10 DE 27		REV

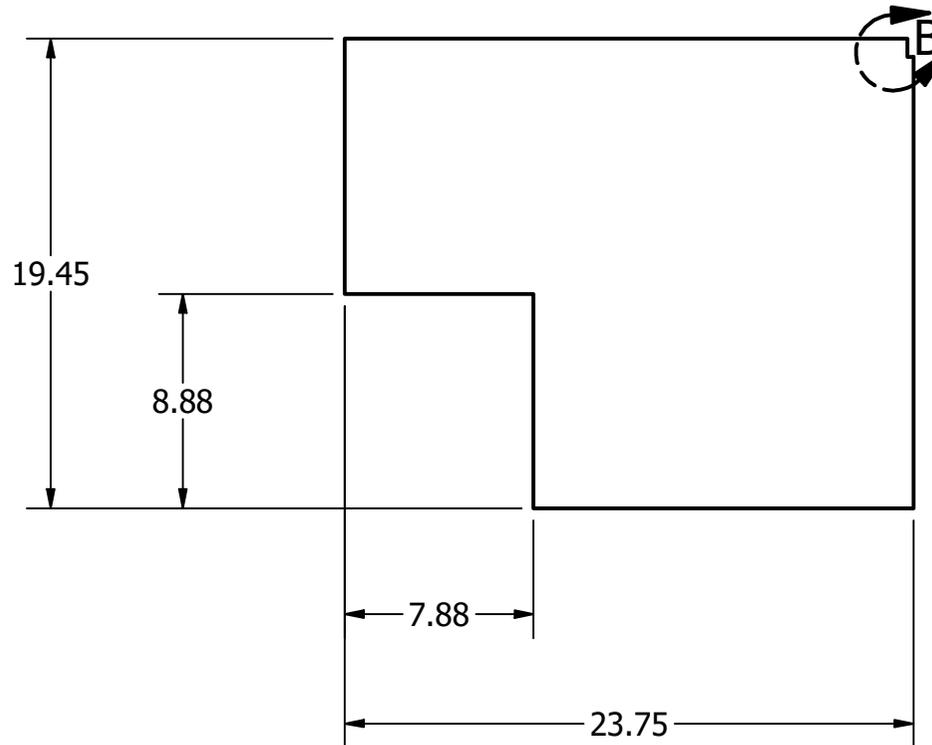
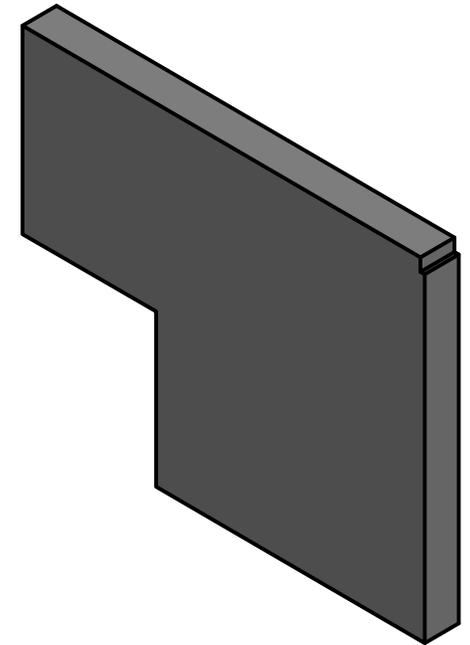


Nota: La pieza se fabricó con poliestireno expandido de 2" de grosor.

TÍTULO: Aislante lateral superior Aislante		
NÚMERO DE DIBUJO: 11		
FORMATO A4	ESCALA: 1/8	UNIDADES: in
	PÁGINA 11 DE 27	REV

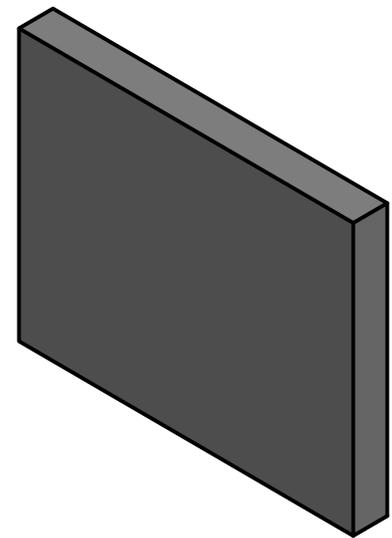
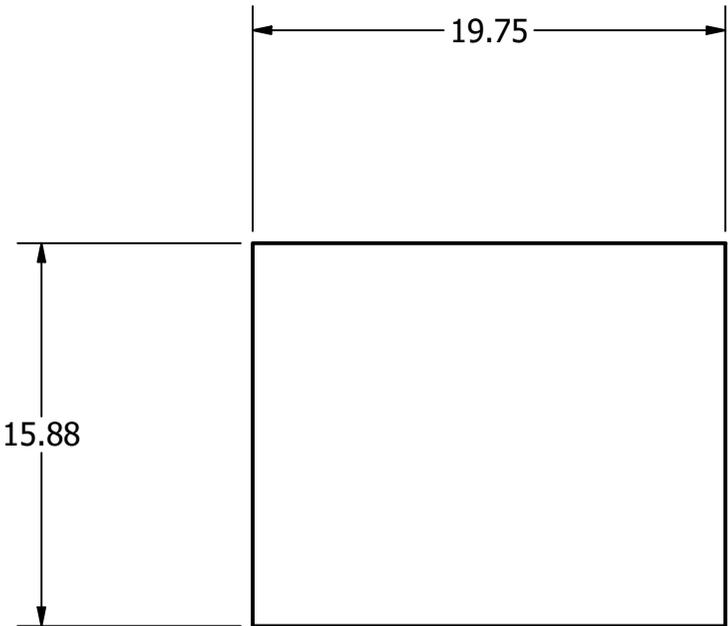


DETAIL B
SCALE 1 / 4



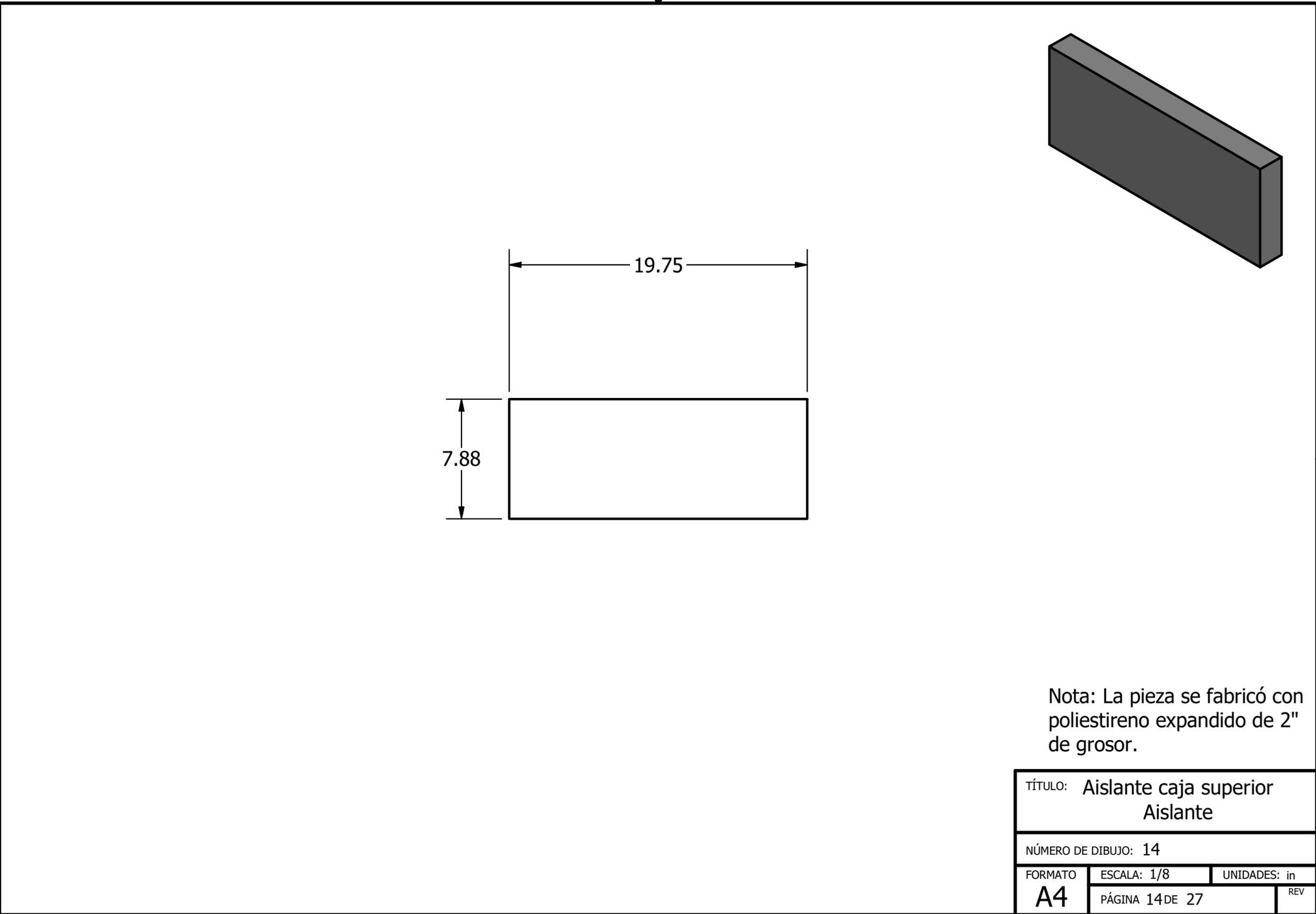
Nota: La pieza se fabricó con poliestireno expandido de 2" de grosor.

TÍTULO: Aislante cara inferior Aislante		
NÚMERO DE DIBUJO: 12		
FORMATO A4	ESCALA: 1/8	UNIDADES: in
	PÁGINA 12 DE 27	REV



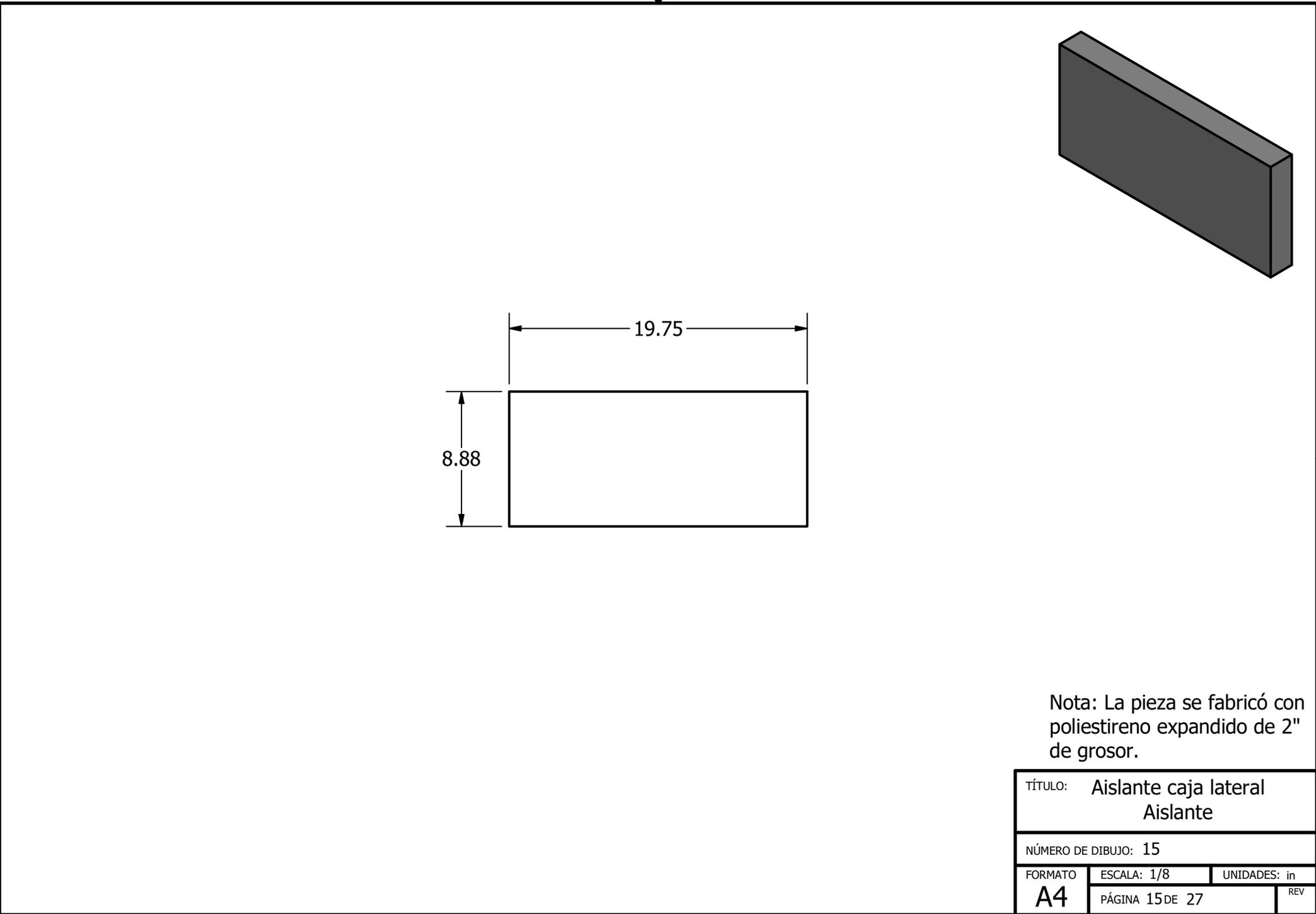
Nota: La pieza se fabricó con poliestireno expandido de 2" de grosor.

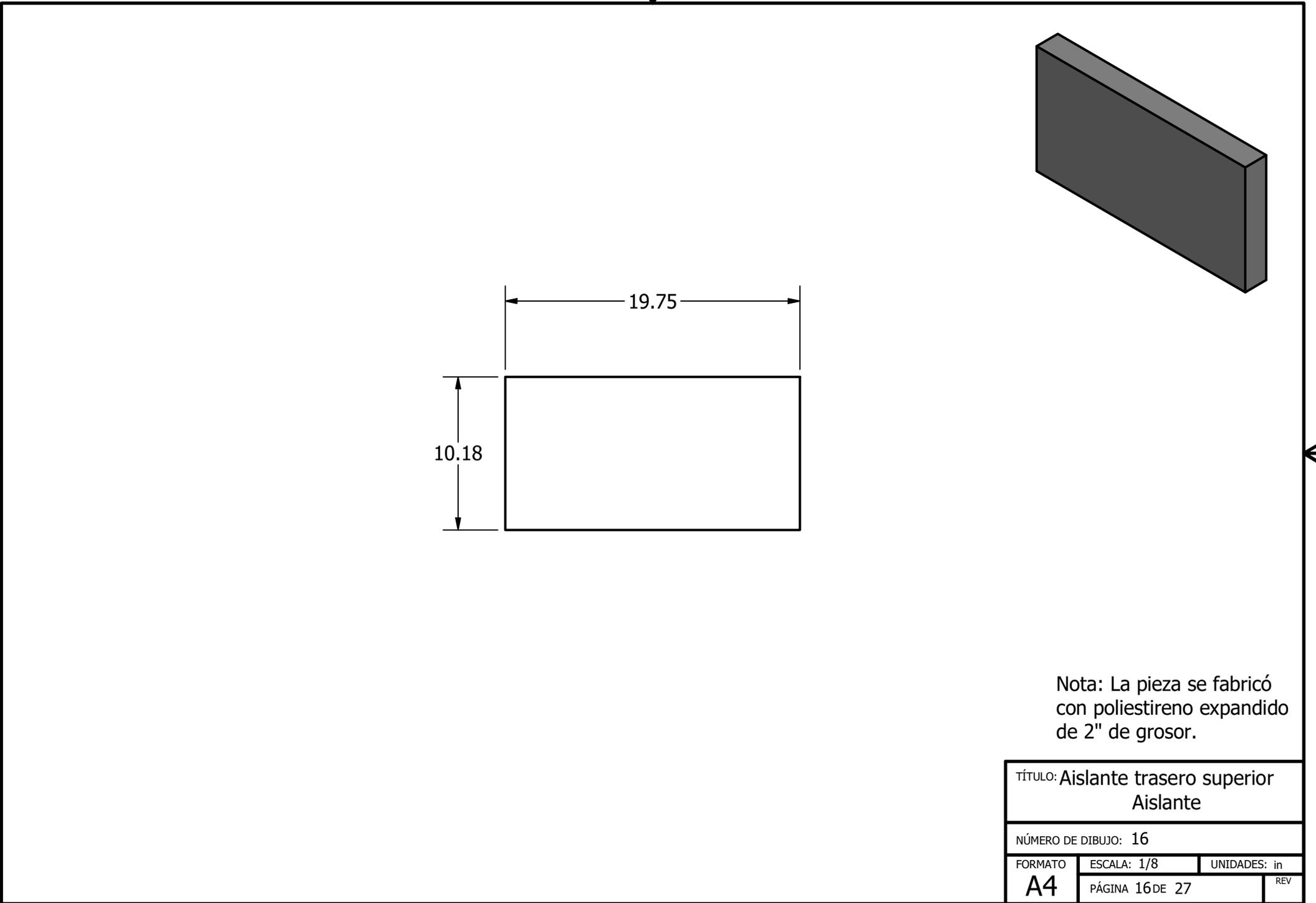
TÍTULO:		Aislante inferior Aislante	
NÚMERO DE DIBUJO: 13			
FORMATO	ESCALA: 1/8	UNIDADES: in	
A4	PÁGINA 13 DE 27		REV

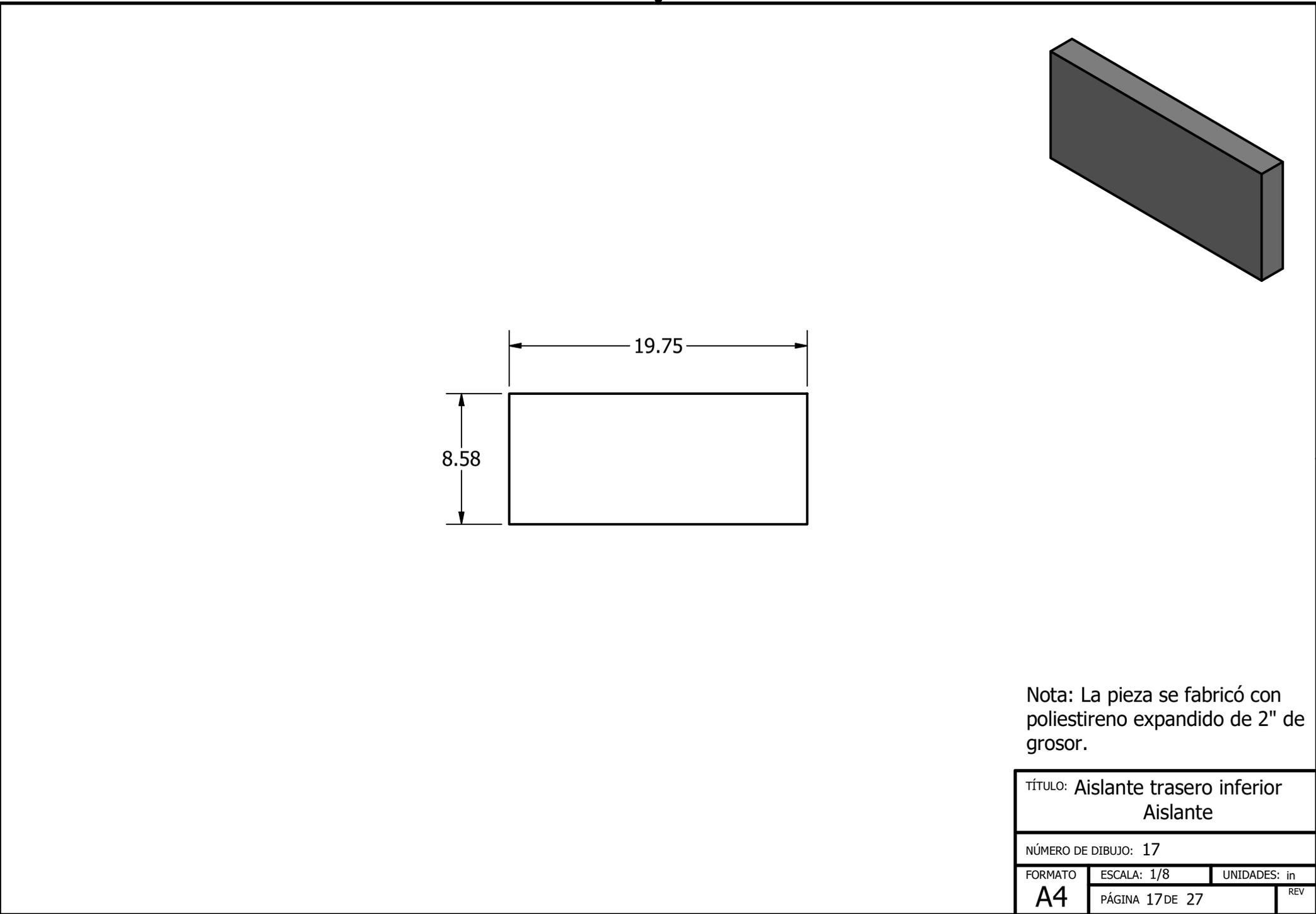


Nota: La pieza se fabricó con poliestireno expandido de 2" de grosor.

TÍTULO: Aislante caja superior Aislante		
NÚMERO DE DIBUJO: 14		
FORMATO	ESCALA: 1/8	UNIDADES: in
A4	PÁGINA 14 DE 27	REV

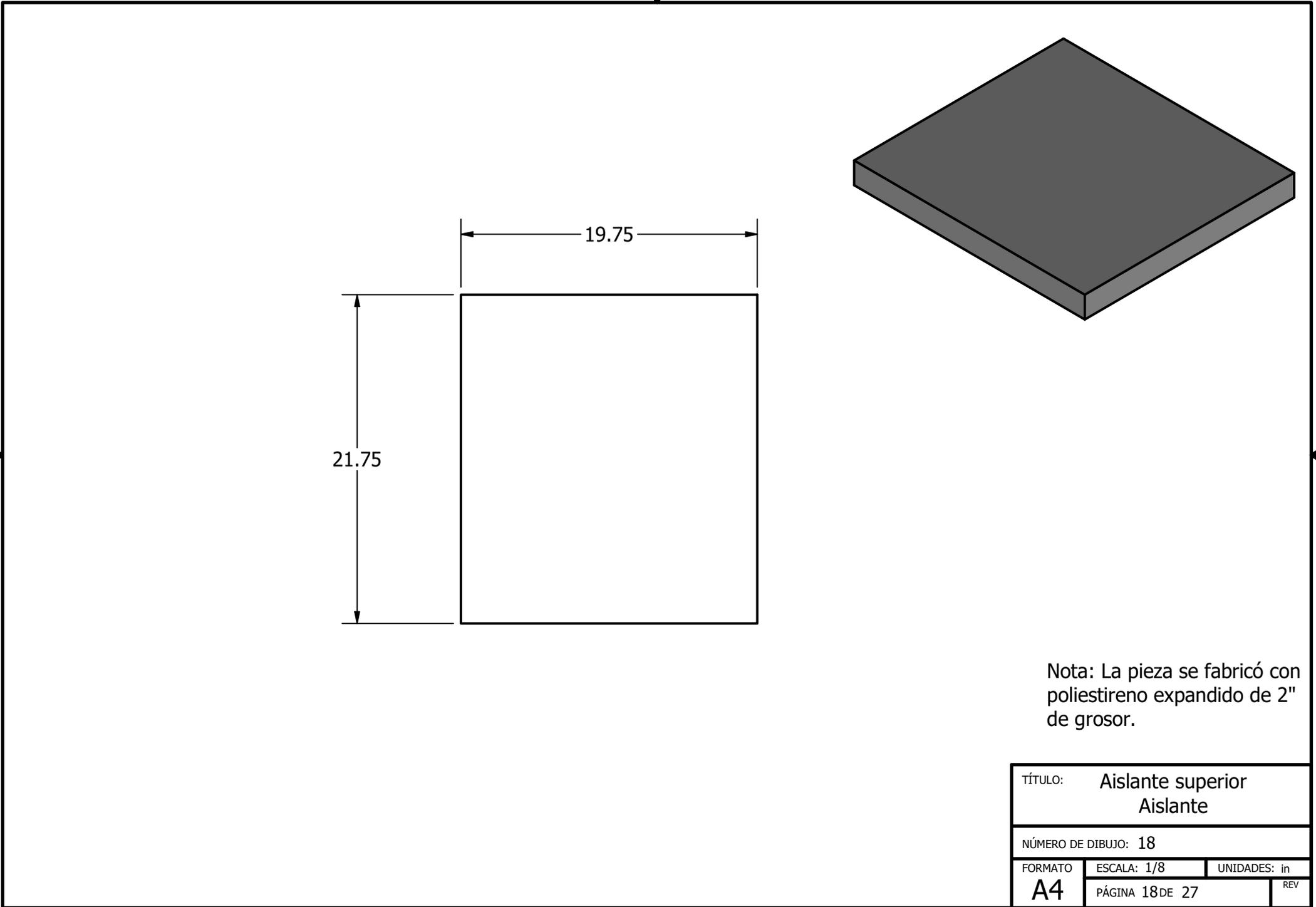






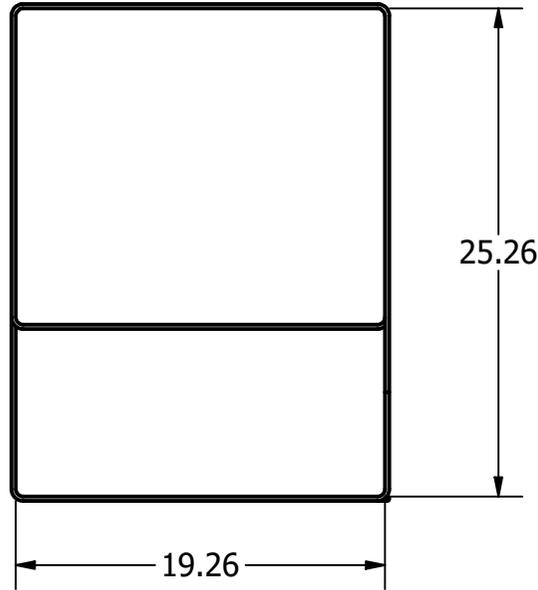
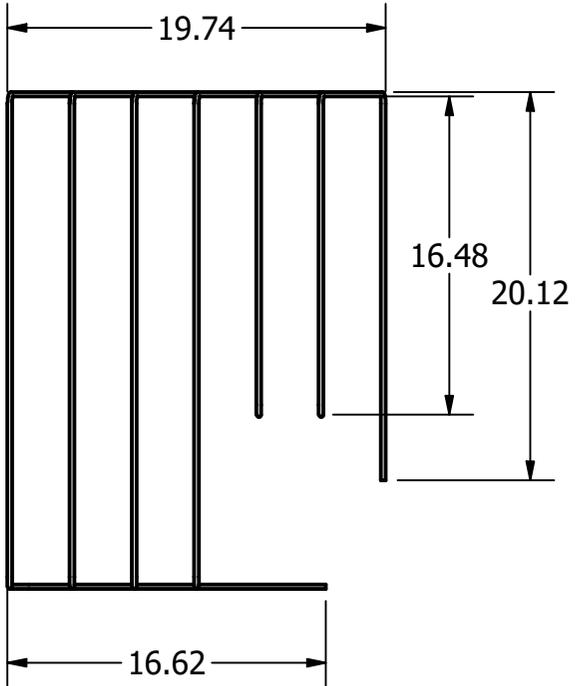
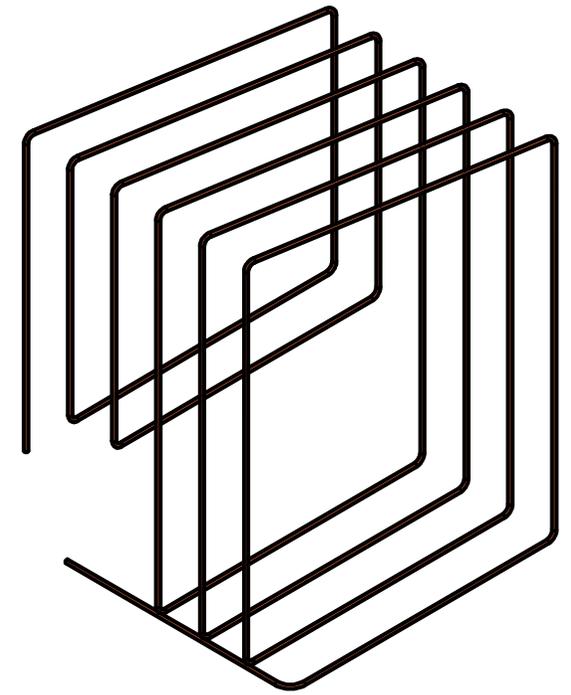
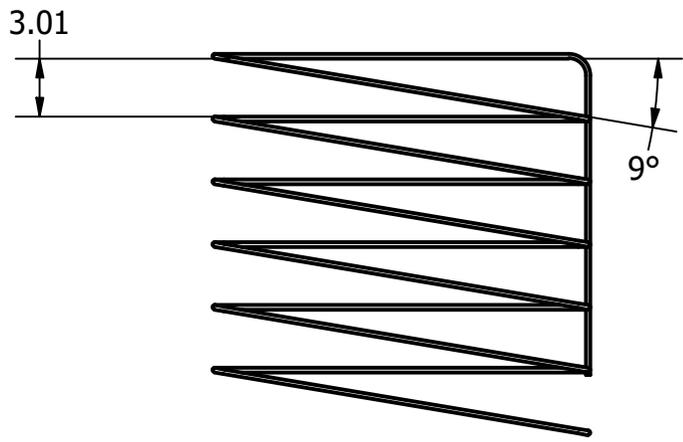
Nota: La pieza se fabricó con poliestireno expandido de 2" de grosor.

TÍTULO: Aislante trasero inferior Aislante		
NÚMERO DE DIBUJO: 17		
FORMATO A4	ESCALA: 1/8	UNIDADES: in
	PÁGINA 17 DE 27	REV



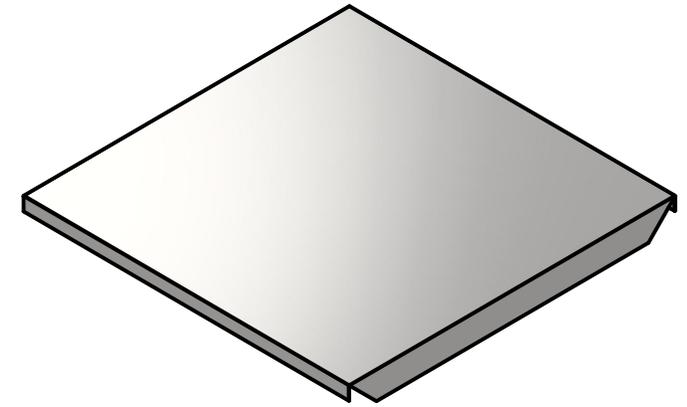
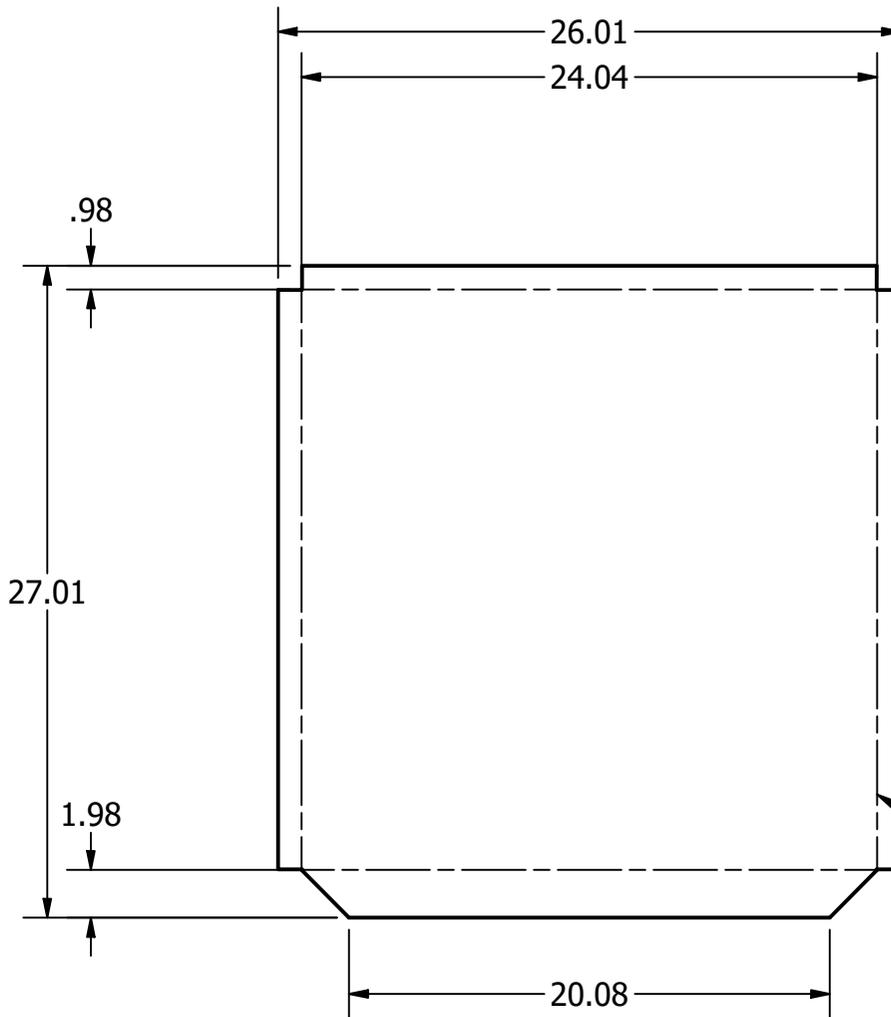
Nota: La pieza se fabricó con poliestireno expandido de 2" de grosor.

TÍTULO: Aislante superior Aislante		
NÚMERO DE DIBUJO: 18		
FORMATO A4	ESCALA: 1/8	UNIDADES: in
	PÁGINA 18 DE 27	REV



Nota: El material
 empleado es tubería de
 1/4" de cobre, 200 psi

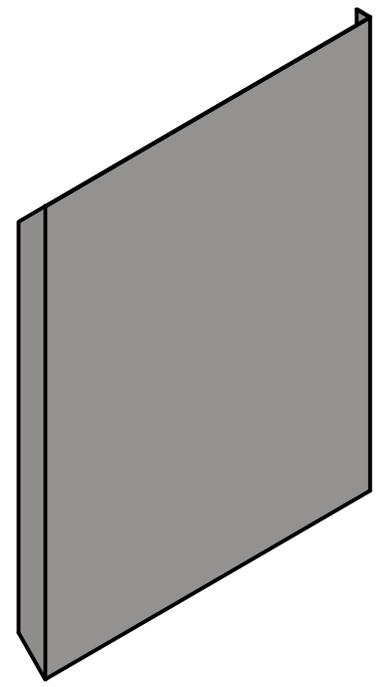
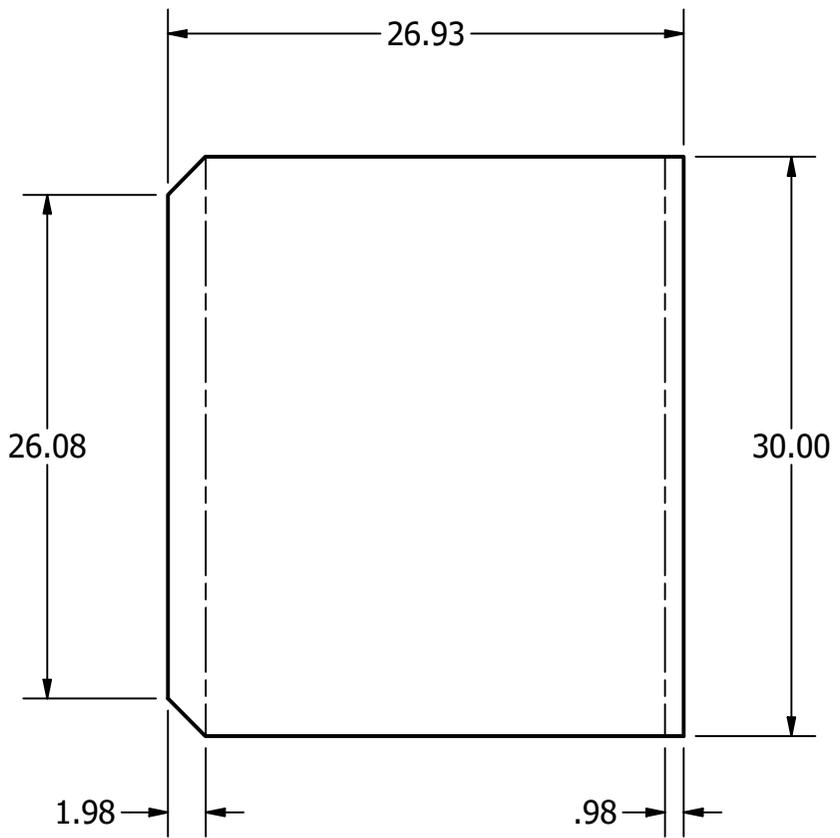
TÍTULO:		Evaporador	
NÚMERO DE DIBUJO: 19			
FORMATO	ESCALA: 1/10	UNIDADES: in	REV
A4	PÁGINA 19 DE 27		



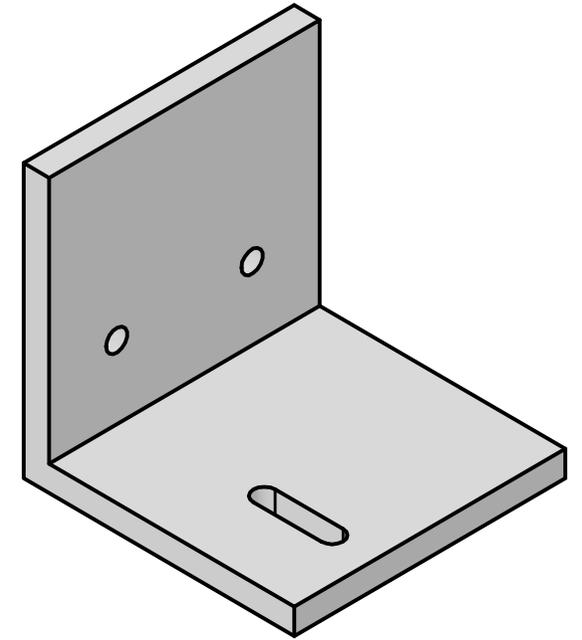
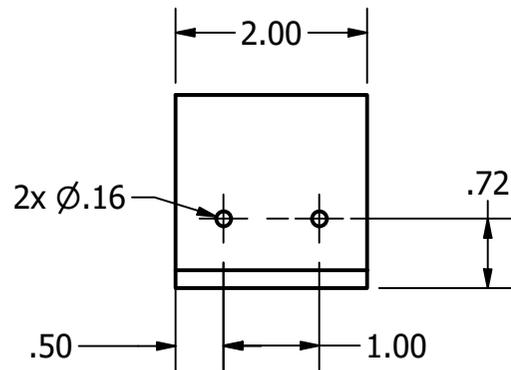
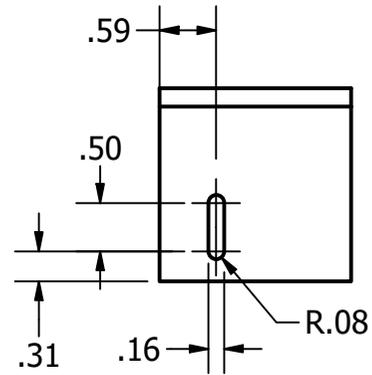
Representa dobleces a 90°

Nota: La pieza se fabricó con lamina galvanizada Cal. 24

TÍTULO:		Lámina lateral Estructura exterior	
NÚMERO DE DIBUJO: 20			
FORMATO	ESCALA: 1/8	UNIDADES: in	REV
A4	PÁGINA 20 DE 27		

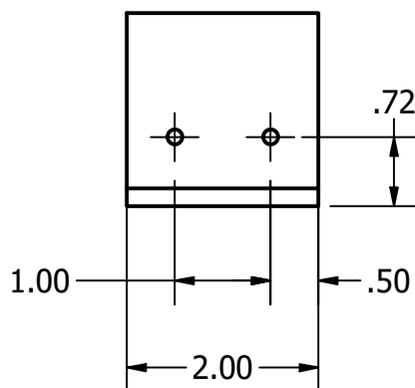
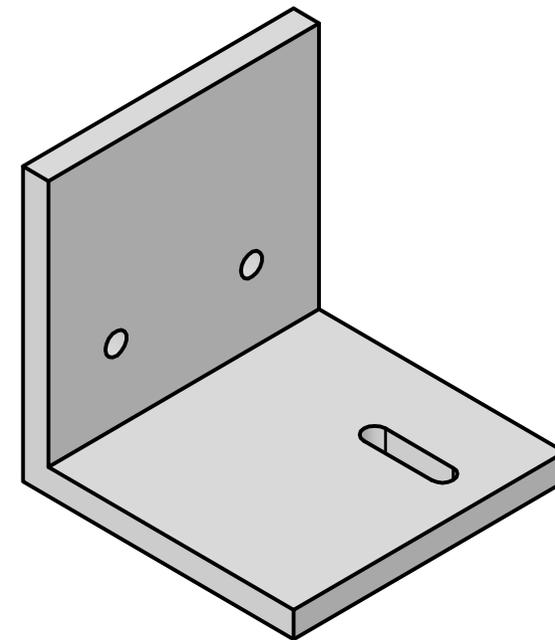
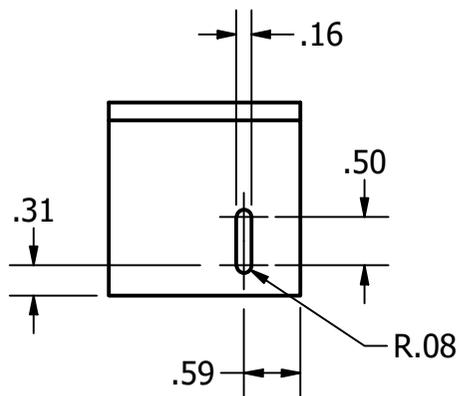


TÍTULO: Lámina superior - inferior		
Estructura exterior		
NÚMERO DE DIBUJO: 21		
FORMATO	ESCALA: 1/8	UNIDADES: in
A4	PÁGINA 21 DE 27	REV



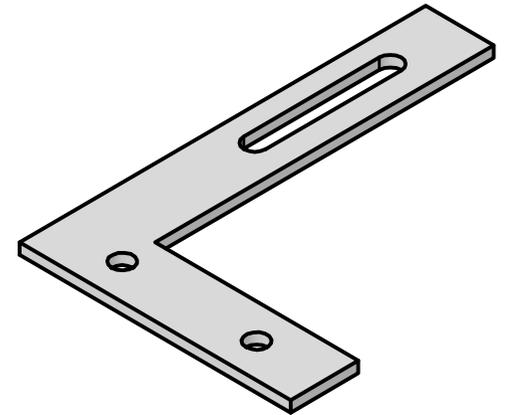
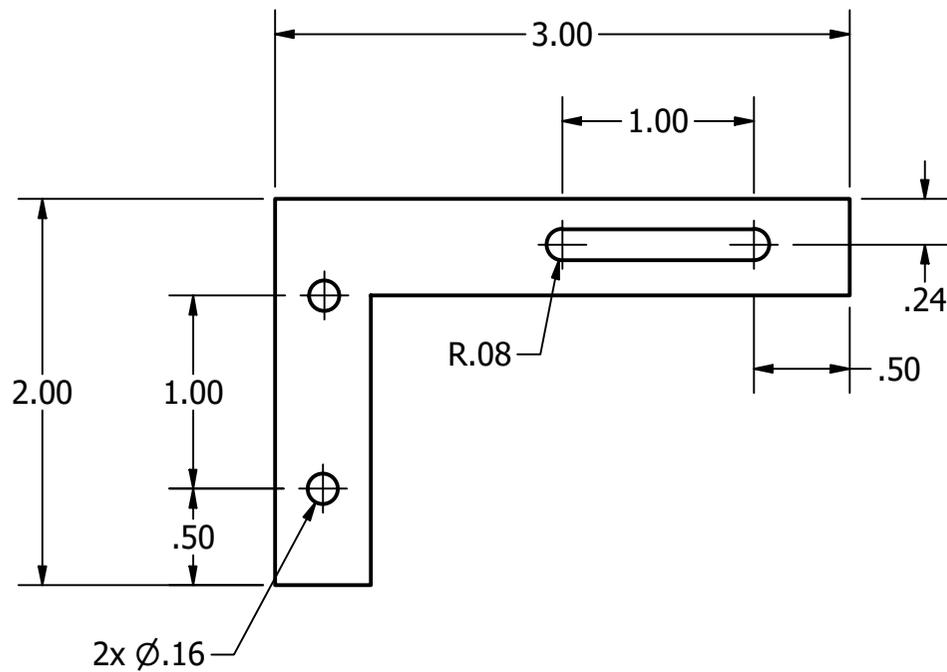
Nota: la pieza se fabricó con un perfil de aluminio de 2" x 3/16"

TÍTULO: Bisagra puerta izq.		
NÚMERO DE DIBUJO: 22		
FORMATO	ESCALA: 1/8	UNIDADES: in
A4	PÁGINA 22 DE 27	REV

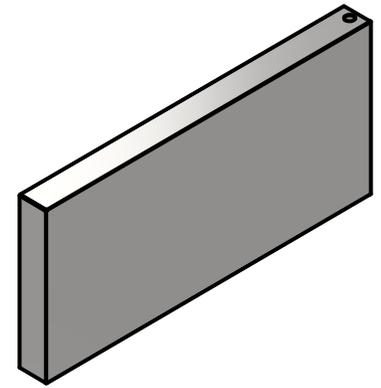
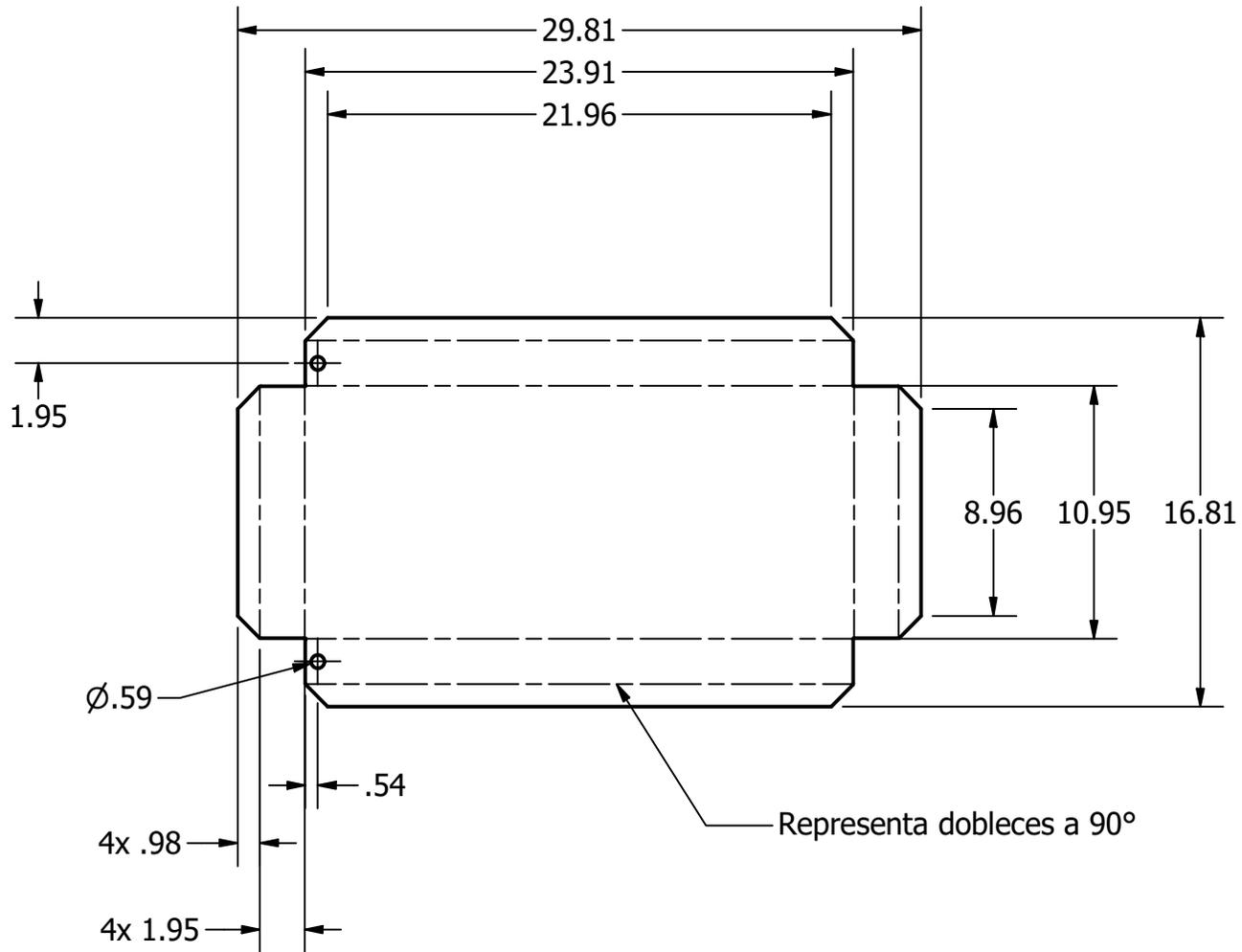


Nota: la pieza se fabricó con un perfil de aluminio de 2" x 3/16"

TÍTULO: Bisagra puerta der.		
NÚMERO DE DIBUJO: 23		
FORMATO	ESCALA: 1/2	UNIDADES: in
A4	PÁGINA 23 DE 27	REV

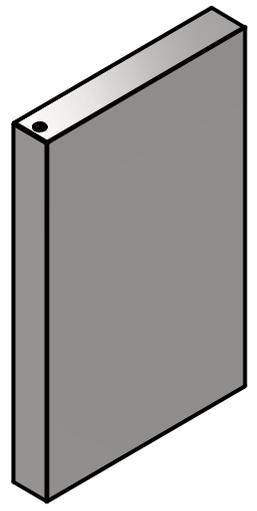
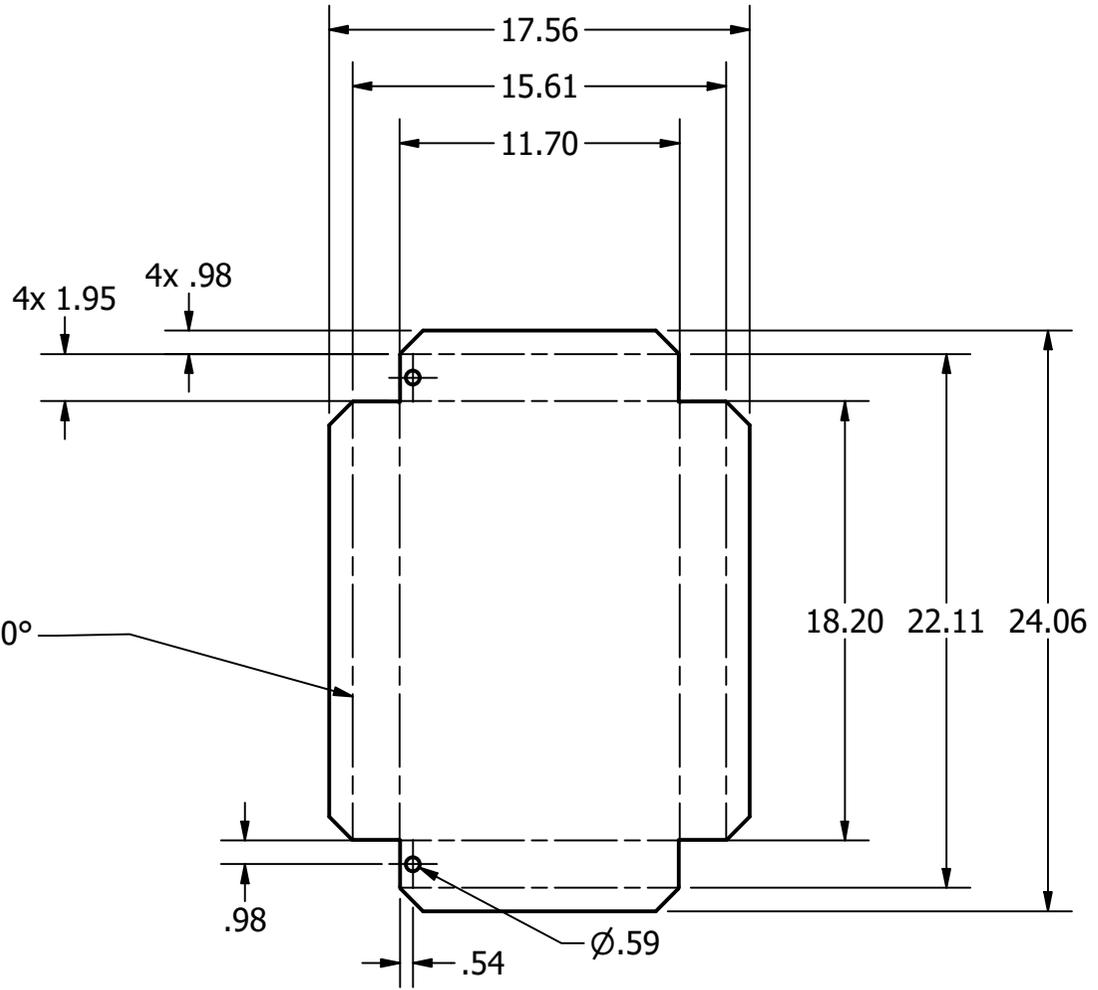


TÍTULO:		Bisagra Tipo L	
NÚMERO DE DIBUJO: 24			
FORMATO	ESCALA: 1:1	UNIDADES: in	
A4	PÁGINA 24 DE 27		REV



Nota: la pieza se fabricó con lámina galvanizada Cal. 24.

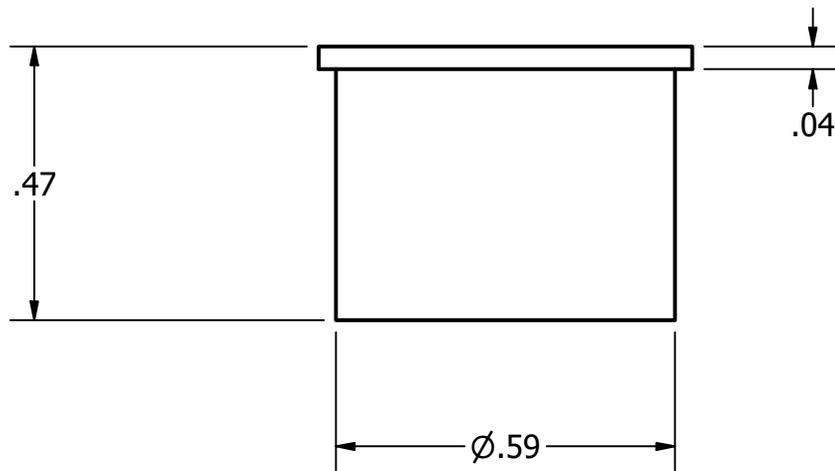
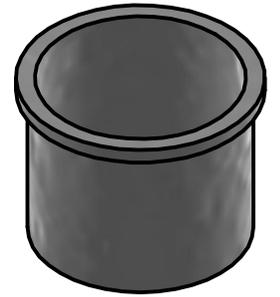
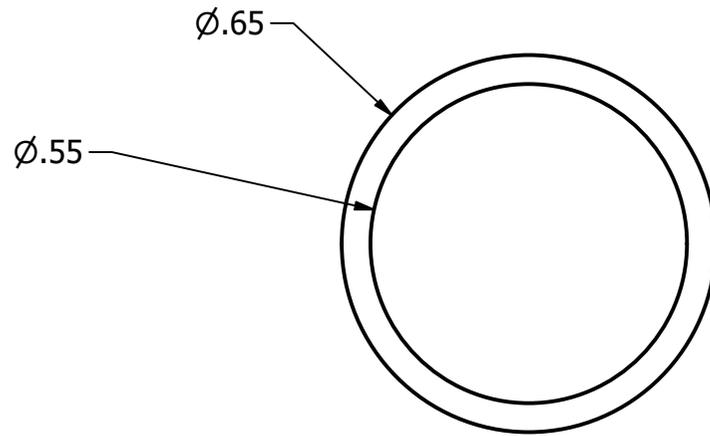
TÍTULO: Puerta superior		
NÚMERO DE DIBUJO: 25		
FORMATO	ESCALA: 1/8	UNIDADES: in
A4	PÁGINA 25 DE 27	REV



Representa dobleces a 90°

Nota: la pieza se fabricó con lámina galvanizada Cal. 24

TÍTULO: Puertas inferiores		
NÚMERO DE DIBUJO: 26		
FORMATO	ESCALA: 1/8	UNIDADES: in
A4	PÁGINA 26 DE 27	REV



Nota: la pieza se fabricó a través de impresión 3D, en Tough PLA

TÍTULO: Base para cojinete		
NÚMERO DE DIBUJO: 27		
FORMATO	ESCALA: 3:1	UNIDADES: in
A4	PÁGINA 27 DE 27	REV