

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



ANÁLISIS DEL USO DE GASIFICADORES EN ESTUFAS EN
SANTA CATARINA PALOPÓ.

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por

Marcos Vielman Lojo para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Mecánica.

Guatemala,

2019

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



ANÁLISIS DEL USO DE GASIFICADORES EN ESTUFAS EN
SANTA CATARINA PALOPÓ.

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por

Marcos Vielman Lojo para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Mecánica.

Guatemala,

2019

Vo. Bo.:

(f) _____

Ing. Andrés Viau

Tribunal Examinador:

(f) _____

Ing. Andrés Viau

(f) _____

Ing. Víctor Ayerdi

(f) _____

Ing. Rony Herrarte

Fecha de aprobación: Guatemala 13 de diciembre de 2019

PREFACIO

Este trabajo se desarrolló con el fin de proponer e implementar un diseño de una estufa con el uso de gasificadores orientado para la comunidad de Santa Catarina Palopó en Sololá, Guatemala. El mismo se desarrolló con la ayuda de los miembros de la comunidad y con la ayuda de Link 4.

Mediante el presente agradezco a mi madre Lara Lojo que su apoyo y amor incondicional hizo que este sueño fuera posible. Al igual que le agradezco a mi hermano Julio José Vielman por su apoyo. Además, agradezco a mi padre Julio Vielman que siempre me apoyo.

Agradezco a mi pareja Katina Robles por siempre apoyarme y alentarme en los momentos más difíciles durante mi carrera.

A mis amigos Moris A. Polanco, Rodrigo Cabrera, David Sanchinelli y Pedro Vielman por su gran amistad y su ayuda durante mi carrera. Nada de esto sería posible si no hubieran entrado en mi vida desde los comienzos de esta carrera universitaria.

Por último, agradezco a mis docentes que me guiaron en mi preparación profesional.

ÍNDICE

LISTADO DE FIGURAS	xiv
LISTADO DE CUADROS	xvii
RESUMEN.....	xix
I. INTRODUCCIÓN.....	2
II.OBJETIVOS	4
A. Objetivo general:.....	4
B. Objetivos específicos:	4
III. JUSTIFICACIÓN	6
IV.MARCO TEÓRICO	8
A. Sistema de cocción:.....	8
1. Elementos importantes para el diseño de un sistema de cocción:	8
2. Parámetros de verificación de requerimientos de diseño:.....	8
B. Combustión:	9
1. ¿Qué es?	9
2. Combustión de Combustibles Sólidos:.....	9
3. Conceptos Importantes:	10
4. Pirolisis:	10
C. Emisiones:	11
1. ¿Qué son?	11
2. Pm 2.5 y Pm 10	11
3. Dióxido de Carbono:.....	12
4. Monóxido de Carbono:	12
D. Tecnología Por Implementar	12
1. TLUD:.....	12
2. ¿Cómo funciona?.....	13
3. Ventajas:.....	14
4. Modelos comerciales:	14
5. Combustible:.....	15
1. Pellets:.....	15
V.METODOLOGÍA.....	18

A.	Investigación previa	18
B.	Primer prototipo.....	20
1.	Diseño	20
2.	Manufactura	22
3.	Pruebas.....	27
4.	Retroalimentación.....	28
C.	Segundo prototipo.....	28
1.	Diseño:	29
2.	Manufactura:	29
3.	Pruebas:.....	38
VI.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	45
A.	Primer prototipo.....	45
1.	Validación de la comunidad.....	45
2.	Observaciones de la estructura de la estufa.....	46
3.	Observaciones del diseño de los gasificadores	46
4.	Emisiones del primer prototipo de gasificadores	46
B.	Segundo prototipo.....	47
1.	Emisiones de los gasificadores.....	47
2.	Eficiencia energética.....	63
3.	Seguridad	66
4.	Análisis estructural	66
5.	Validación de la comunidad.....	73
VII.	CONCLUSIONES	78
VIII.	RECOMENDACIONES	80
IX.	REFERENCIAS	82
X.	ANEXOS.....	84
A.	Iteraciones en el diseño de gasificadores:	84
B.	Planos:	87

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Principio de TLUD	13
Figura 2: Gasificador Mimi-moto y su clasificación.....	14
Figura 3: Gasificador Ace 1 y su clasificación.	15
Figura 4: Pellets.....	16
Figura 5: Ejemplo de estufa y de costumbres de cocina en Santa Catarina Palopó.	18
Figura 6: Prototipo elaborado con la comunidad y OSU.....	19
Figura 7: Diseño preliminar del primer prototipo.	21
Figura 8: Explosión del diseño preliminar del primer prototipo.	21
Figura 9: Cilindros Mimi-moto.....	22
Figura 10: Perfil rectangular.	23
Figura 11: Estructura con plancha.	23
Figura 12: Estante y su manera de soporte.	24
Figura 13: Cilindro interior.	25
Figura 14: Cilindro exterior.	26
Figura 15: Diferencia de altura de los cilindros.	26
Figura 16: Gasificador completo.....	27
Figura 17: Soportes estructurales modificados.	29
Figura 18: Plancha nueva.....	30
Figura 19: Canasta para la colocación de gasificador.	30
Figura 20: Entrepañ superior.....	31
Figura 21: Entrepañ inferior.....	31
Figura 22: Barra de rigidez.	32
Figura 23: Ollas.	33
Figura 24: Marcado de olla mediana.	34
Figura 25: Remoción de orejas.....	34
Figura 26: Marcado de diámetro en tapadera.....	35
Figura 27: Inserción de anillo.....	35
Figura 28: Marcado de olla pequeña.	36
Figura 29: Concentrador de llama.	37
Figura 30: Gasificador grande.....	37
Figura 31: Sensor Temptop.....	38
Figura 32: Parámetros de emisiones Temptop.	39
Figura 33: Fluke 985.....	39
Figura 34: Aeroqual series 300	40
Figura 35: Medición de emisiones.	40
Figura 36: Balanza de humedad.	41
Figura 37: Montaje de water boiling test.	42
Figura 38: Validación de estufa en Santa Catarina Palopó.....	43
Figura 39: Presentación primer prototipo.	45
Figura 40: Prueba de gasificador pequeño.....	55
Figura 41: Datos de entrada en la hoja de cálculo del protocolo de prueba de eficiencia.	64
Figura 42: Resultados eficiencia energética gasificador grande.	64
Figura 43: Entrada de datos en la hoja de cálculo del protocolo de prueba de eficiencia.	64
Figura 44: Resultados eficiencia energética gasificador pequeño.....	65
Figura 45: Carga aplicada a la estructura.....	67

Figura 46: Mallado de todo el sistema.....	67
Figura 47: Mallado.	68
Figura 48: Valores de ortogonalidad.	68
Figura 49: Gráfica de ortogonalidad.....	68
Figura 50: Valores de sesgo.	69
Figura 51: Gráfica de sesgo.....	69
Figura 52: Deformación total.	70
Figura 53: Deformación direccional.....	70
Figura 54: Esfuerzo equivalente.....	71
Figura 55: Localización del esfuerzo equivalente von-Mises.....	71
Figura 56: Factor de seguridad.....	72
Figura 57: Localización del factor de seguridad.	72
Figura 58: Validación de la comunidad.....	74
Figura 59: Tortillas en la estufa.....	74
Figura 60: Estufa en funcionamiento.....	75
Figura 61: Iteración gasificador.	84
Figura 62: Iteración gasificador 2.....	84
Figura 63: Iteración gasificador 3.....	85
Figura 64: Iteración gasificador 4.....	86
Figura 65: Iteración gasificador 5.....	86

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1: Factores de diseño de un sistema de cocción.....	8
Cuadro 2: Primeros requerimientos de la comunidad.	20
Cuadro 3: Validación por parte de la comunidad del primer prototipo.	28
Cuadro 4: Listado de partes y precio.	46
Cuadro 5: Emisiones primer prototipo y modelos comerciales	47
Cuadro 6: Primera fase de emisiones.....	48
Cuadro 7: Valores promedio de emisiones primera fase.	48
Cuadro 8: Material particulado primera fase.	49
Cuadro 9: Segunda fase de emisiones.	50
Cuadro 10: Valores promedio de emisiones segunda fase.....	50
Cuadro 11: Material particulado segunda fase.	51
Cuadro 12: Tercera fase de emisiones.	52
Cuadro 13: Valores promedio de emisiones tercera fase.....	53
Cuadro 14: Material particulado tercera fase.	54
Cuadro 15: Emisiones primera fase.....	55
Cuadro 16: Valores promedio de emisiones primera fase.	55
Cuadro 17: Material Particulado primera fase.	57
Cuadro 18: Emisiones segunda fase.	57
Cuadro 19: Valores promedio de emisiones segunda fase.....	58
Cuadro 20: Material particulado segunda fase.	58
Cuadro 21: Emisiones tercera fase.	59
Cuadro 22: Valores promedio de emisiones tercera fase.....	60
Cuadro 23: Material particulado tercera fase.	61
Cuadro 24: Niveles de CO y CO ₂ en estufas de fuego abierto.	61
Cuadro 25: Valores promedio de emisiones de gasificador grande durante las tres fases.	62
Cuadro 26: Valores promedio de emisiones de gasificador pequeño durante las tres fases.....	62
Cuadro 27: Material particulado de combustible sin gasificador.....	62
Cuadro 28: Resultados estufa fuego abierto.	65
Cuadro 29: Condiciones de frontera del análisis.....	66
Cuadro 30: Validación segundo prototipo.	75
Cuadro 31: Listado de partes y precio.	76

RESUMEN

El proyecto tiene como finalidad el diseño y validación de una estufa que utiliza gasificadores como medio de combustión. Se colaboró con la organización Link 4 por la experiencia que han tenido con este tipo de proyectos en la comunidad de Santa Catarina Palopó. Para realizar el proyecto se tiene como punto de partida una investigación del contexto de la comunidad y de los requerimientos que se busca en una estufa en la comunidad. Al igual que se realiza una investigación de la tecnología que se desea implementar y cómo esta puede ser validada socialmente por la comunidad. Se procedió a diseñar la estufa y a recopilar la retroalimentación de la comunidad para una segunda iteración del diseño. Tomando en cuenta los nuevos requerimientos establecidos se hicieron cambios al primer diseño para luego validar la estufa en la comunidad. Se llevaron a cabo pruebas de eficiencia y de emisiones para determinar qué tan viable es la estufa. Se espera poder obtener una estufa que sea validada por la comunidad. Se obtuvo una estufa con la capacidad de poder cocinar 5 a 8 tortillas a la vez. La estufa también tiene la capacidad de aguantar una carga de 100kg y la habilidad de brindar una combustión constante por un periodo de tiempo de 1 hora.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente en Guatemala la fuente de energía principal para cocinar es la leña debido a su fácil accesibilidad y su alta disponibilidad en muchas partes del país. La leña representa una importancia alta en las comunidades de alrededor del país debido a que la mayoría de las comidas se cocinan utilizando leña como combustible. Santa Catarina Palopó es un ejemplo de una comunidad donde la fuente de combustible primaria es la leña. La utilización de leña para cocinar resulta en altas emisiones intradomiciliarias que luego resultan en daños a la salud a los habitantes del domicilio. La tala de árboles para conseguir la leña que se utiliza también tiene repercusiones para el ambiente especialmente en una comunidad ubicada en las cercanías del lago Atitlán. Este proyecto se trabajó en conjunto con Link 4 y la comunidad de Santa Catarina Palopó debido a que Link 4 ya ha trabajado previamente con la comunidad y ha establecido contactos con habitantes de la comunidad.

Este proyecto consiste en el diseño, manufactura y validación de una estufa que utilice gasificadores que presenten una alternativa a las estufas que utilizan leña como su fuente de combustible primario. La razón del proyecto es introducir a la comunidad de Santa Catarina Palopó con una alternativa a las estufas que se utilizan actualmente en los domicilios de la mayoría de las personas en la comunidad. Para introducir la estufa con gasificadores se hace una recopilación de los requerimientos esenciales de lo que debería de incluir la estufa. Con los requerimientos se procede a diseñar un primer prototipo que luego se vuelve a validar por la comunidad para redefinir los requerimientos. Redefiniendo los requerimientos se altera el diseño de la estufa. La estufa busca ser de bajo costo con materiales que se podrían encontrar fácilmente y que se pudiera replicar el diseño.

Se utilizan diferentes técnicas de manufactura para poder elaborar el diseño que se hizo teniendo los requerimientos definidos. Al manufacturar el diseño este después se somete a pruebas para determinar el desempeño de la estufa al igual que su usabilidad y asequibilidad. Esto sirve para caracterizar la estufa y poder concluir sobre el diseño desarrollado. Al final ese proyecto pretende demostrar el proceso que se siguió desde determinar los requerimientos, diseñar la estufa, manufacturarla, someterla a pruebas y validarla con los habitantes de Santa Catarina Palopó.

II.OBJETIVOS

A. Objetivo general:

Validar el uso de gasificadores en una estufa diseñada con los miembros de la comunidad de Santa Catarina Palopó.

B. Objetivos específicos:

1. Visitar la comunidad de Santa Catarina Palopó para determinar sus requerimientos para una estufa con gasificadores.
2. Elaborar un primer prototipo de la estufa con gasificadores basado en los requerimientos que se identificaron.
3. Elaborar los gasificadores basándose en modelos comerciales y funcionales para asegurarse del funcionamiento de estos para que puedan proveer el calor necesario para cocinar los platillos locales.
4. Presentar el primer prototipo y obtener retroalimentación de la comunidad.
5. Modificar el primer prototipo para que se incluya los requerimientos de la retroalimentación del prototipo inicial.
6. Elaborar un análisis de esfuerzos de la estructura para determinar si la estructura puede soportar el peso de 100kg que se estableció como un requerimiento de la comunidad.
7. Determinar la temperatura necesaria que deben proporcionar los gasificadores para que la plancha de la estufa se caliente y que esta pueda cocinar entre 5 y 8 tortillas a la vez.
8. Realizar pruebas finales de emisiones, eficiencia, seguridad y validación de la comunidad con el segundo prototipo y determinar conclusiones y analizar resultados al respecto.

III. JUSTIFICACIÓN

Según el Ministerio de Energía y Minas en el 2017 se reportó que el 55% de las personas en Guatemala usan la leña como su fuente principal de combustible. Esto se traduce a que 9 millones de guatemaltecos usan leña para sus tareas caseras tales como cocinar, calentar agua, etc. En Santa Catarina Palopó se estima que hay 5,675 (Instituto Nacional de Estadística, 2012) habitantes de los que aproximadamente 3,400 usan leña como fuente primaria de combustible. El monóxido de carbono (CO) es un gas que no se puede ver ni oler y se produce cuando se quema leña en la comunidad. Este gas es tóxico para el ser humano y al estar expuesto a él se tienen repercusiones para la salud. Según el Centro de Control de Enfermedades (CDC) el estar expuesto al CO por un periodo largo de tiempo causa mareos, náuseas, dolores de cabeza y al largo plazo problemas de corazón. Debido a que la organización Link 4 ya ha trabajado previamente con la comunidad en temas de estufas y procesos de cocción, se plantea la creación de un modelo de estufa que contenga gasificadores, con el objetivo de poder darle a la comunidad de Santa Catarina Palopó una estufa que no emita tantos gases nocivos para la salud.

Se escogen gasificadores ya que su proceso de combustión ayuda a eliminar estos gases nocivos pues es un proceso de combustión donde se tiene pirolisis. Esto resulta en la producción de gases combustibles que se recirculan para ser utilizados como combustible. Se ha determinado que el combustible, pellets de madera, es más amigable al medio ambiente porque “usualmente están hechos de aserrín comprimido” lo que quiere decir que se usa biomasa y se está aprovechando un desperdicio para hacer un combustible. Además, que los pellets son más densos y contienen una cantidad de humedad significativamente menor a la de un leño de madera. El proceso de compresión con el que se hacen los pellets elimina esa humedad innecesaria por lo que usualmente queman a temperaturas más altas que un leño de madera. El uso de pellets es una solución bastante atractiva para disminuir la tala de árboles en el área de Santa Catarina Palopó al igual que disminuiría el uso de leña en las tareas caseras.

IV.MARCO TEÓRICO

A. Sistema de cocción

1. Elementos importantes para el diseño de un sistema de cocción

Un sistema de cocción incluye la estufa, el combustible, un recipiente de cocina (ej. Una olla), un usuario y una cocina. Existen tres factores que se tienen que tomar en cuenta para el diseño exitoso de un sistema de cocción. Estos factores son: desempeño, asequibilidad y usabilidad. Dependiendo de qué es lo que se esté buscando en el sistema de cocción alguno de estos factores se verá más beneficiado que otros.

Cuadro 1: Factores de diseño de un sistema de cocción

Desempeño	Asequibilidad	Usabilidad
<ul style="list-style-type: none">• Eficiencia energética• Contaminantes para la salud• Emisiones de efecto invernadero• Seguridad• Durabilidad• Tiempo	<ul style="list-style-type: none">• Precio• Costo de unidad• Vida útil• Consumo de combustible	<ul style="list-style-type: none">• Tiempo ahorrado• Peso• Portabilidad• Mantenimiento y servicio• Interfaz de usuario• Limpieza• Atractivo• Nivel de rechazo• Facilidad de ignición• Requerimientos de cuidado

(Global Alliance For Clean Cookstoves)

Los factores que previamente se habían mencionado se pueden desglosar como lo demuestra el Cuadro 1. Se considera un gran desafío que el sistema diseñado cumpla con todos los elementos en el Cuadro 1. Aun así, el sistema se puede tomar como exitoso si incluye varios de estos elementos en práctica. (Global Alliance For Clean Cookstoves, 2018)

2. Parámetros de verificación de requerimientos de diseño

Existen ciertos parámetros que uno puede usar para verificar si su estufa cumple con los requerimientos de diseño como:

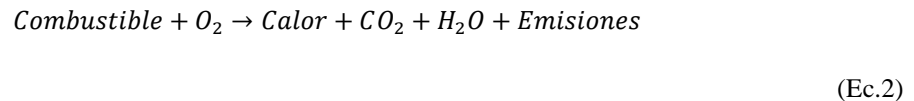
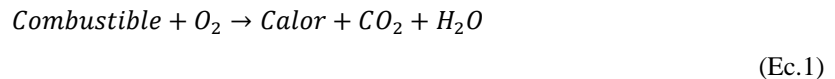
- Cocinar un 1kg de arroz en menos de una hora.
- Limitar el peso a 5kg.
- Usar materiales disponibles en Guatemala.
- El costo adicional de la estufa se puede recuperar en el costo de ahorro de combustible.
- Partes que se puedan dañar se pueden reemplazar con facilidad.
- Estéticamente agradable para el usuario.
- Cumple con un puntaje de 88 en seguridad de estufas a base de biomasa.

Es importante hacer pruebas del diseño de la estufa ya que de esa manera se puede determinar el impacto que se tendrá ya sea ambiental, social, económico o de salud. Es muy difícil inferir cómo se comportará la estufa diseñada por lo que se hace énfasis en las pruebas que se le deben realizar a la estufa. Las pruebas por realizar pueden ser de campo o de laboratorio y estas se llevan a cabo de diferente forma. Las pruebas de laboratorio usualmente se enfocan en solo la estufa y las pruebas de campo ya se enfocan en todo el sistema de cocción. (Global Alliance For Clean Cookstoves, 2018)

B. Combustión

1. ¿Qué es?

Se necesita tener combustión para tener un sistema de cocción debido a que la estufa utiliza esa combustión para poder transferir calor al recipiente de cocina y lograr cocinar alimentos. El entendimiento de cómo se genera la combustión es necesario para poder lograr que esta sea lo más completa posible. Combustión es el proceso en el cual un combustible reacciona con oxígeno para producir calor y otros productos. La combustión puede ser completa o incompleta y esto depende de la proporción de oxígeno y combustible que se esté mezclando. Si la proporción de oxígeno mezclado con combustible es la ideal para convertir toda esa mezcla completamente en calor, dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua (H_2O) entonces se tiene una combustión completa como se ve en la ecuación 1. Si la proporción de oxígeno y la mezcla con el combustible no es adecuada entonces se llega a tener una combustión incompleta como se ve en la ecuación 2. La ecuación 2 demuestra una conversión parcial de calor y emisiones que son asociadas con daños al medio ambiente y a la salud. Es importante mencionar que la combustión incompleta puede ser por tener mucha presencia de oxígeno o mucha presencia de combustible. Esto es conocido como combustión rica en combustible y combustión pobre en combustible. Las estufas que utilizan combustibles sólidos usualmente trabajan con combustión pobre en combustible donde la presencia de aire es mayor para tener una combustión completa. (Global Alliance For Clean Cookstoves, 2018)



2. Combustión de combustibles sólidos

Los combustibles sólidos pueden ser madera, carbón, biomasa, etc. Cuando este combustible sólido se empieza a calentar empieza a liberar gases. Los gases pueden ser conocidos como gases volátiles, gases de pirolisis o gas combustible. Estos gases reaccionan con el oxígeno y producen una flama visible donde

productos calientes de la combustión conocidos como emisiones son liberados por la flama. El calor producido por la flama se transfiere al combustible y repite el ciclo donde el combustible se calienta, libera gases volátiles que reaccionan para producir una flama y la flama desecha gases de escape o emisiones. Cuando los gases volátiles se acaban solo queda carbón desechando calor que reacciona con el oxígeno presente produciendo emisiones. (Global Alliance For Clean Cookstoves, 2018)

3. Conceptos importantes

Existen varios conceptos de la combustión que son importantes saber para que se pueda entender un poco mejor. Si se desea tener una combustión más limpia se tiene que seguir las 3 “Ts” que consiste en turbulencia, tiempo y temperatura. Estos son bastante útiles para tener una combustión más completa ya que cuando las emisiones se quedan en un ambiente caliente durante un tiempo más largo estas todavía pueden quemarse. Al igual que tener una temperatura más alta en donde ocurre la combustión en la estufa hace que las emisiones se degraden. La turbulencia promueve la mezcla de las emisiones con el oxígeno presente para que estas logren combustionar. (Global Alliance For Clean Cookstoves, 2018)

Es necesario tener oxígeno, combustible y calor para poder sustentar un fuego correctamente. El oxígeno y el combustible son los primeros que reaccionan juntos para crear un fuego, pero el calor que genera el fuego hace que la mezcla de oxígeno y combustible siga quemándose y sustentando el fuego. Existe una ruta para que los gases producidos por la combustión en una estufa se vuelvan a quemar. Esta ruta se llama camino del flujo en donde se busca redireccionar los gases para que estos se vuelvan a quemar. (Global Alliance For Clean Cookstoves, 2018)

La eficiencia de una estufa también es un concepto importante de la combustión. Si se ve en grandes rasgos la eficiencia de un sistema es la comparación entre lo que se le está metiendo al sistema contra lo que estamos obteniendo. En el caso de la estufa se le mete combustible y mediante la combustión se obtiene el calor que se usa para cocinar alimentos. Si se quisiera obtener la eficiencia térmica al final solo es el porcentaje del calor que se transfiere a la comida o agua. Masa térmica es otro concepto importante dado a que si el material tiene una alta cantidad de masa térmica entonces significa que este puede retener grandes cantidades de calor. (Global Alliance For Clean Cookstoves, 2018)

4. Pirolisis

Es un proceso en donde se calienta materia orgánica en la ausencia de oxígeno para lograr extraer los gases volátiles del combustible. Esto es posible debido a un proceso de descomposición de la materia orgánica a altas temperaturas. El resultado de esta descomposición son los gases que se logran utilizar como un combustible con bajas emisiones. Al llevar a cabo este proceso también se obtiene una carbonización completa del combustible primario que es la materia orgánica. Se podría decir que la pirolisis lleva el proceso inverso que el carbón ya que al combustionar el carbón lo que se obtiene es calor, cenizas y emisiones. En

cambio, cuando se tiene un proceso de pirolisis se obtiene calor, carbón y reducción de emisiones. Este carbón luego se puede usar para fertilizar o como un abono para plantas. (Roth, 2015)

C. Emisiones

1. ¿Qué son?

Las emisiones son productos de la combustión, más específicamente de una combustión incompleta donde se tiene como resultado gases y partículas. Estas emisiones son importantes para el diseño de una estufa ya que los gases y partículas como el monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO₂) y partículas finas como él (Pm2.5 y Pm10) son dañinos para el medio ambiente y la salud. (Global Alliance For Clean Cookstoves, 2018)

2. Pm 2.5 y Pm 10

Pm hace referencia a materia particular o también se conoce como contaminación de partículas. Esto es una mezcla de partículas ya sean solidas o liquidas que se encuentran en el aire del alrededor. Cuando se tiene un fuego hay partículas que son lo suficientemente grandes para ser vistas por el ojo humano. Estas son tan pequeñas que solo pueden ser vistas por un microscopio. Lo que hace peligrosas a estas partículas es que pueden ser inhaladas y causar serios daños en los pulmones si la exposición a ellas es constante. La diferencia entre Pm 2.5 y Pm 10 es el tamaño de las partículas. Pm 2.5 tiene un diámetro de 2.5 micrómetros o menor y Pm 10 tiene un diámetro de 10 micrómetros o menor. Ambas son inhalables debido a su tamaño tan pequeño y que no son visibles. Algunas fuentes donde surgen estas partículas son: sitios de construcción, caminos de terracería, fuegos, automóviles, etc. Lo que las hace tan peligrosas es que nunca se sabe por seguro que químicos exactamente están dentro de esas partículas. Debido a esa incertidumbre también no se sabe las reacciones químicas que se están dando entre esas partículas algunas de las cuales son bastante dañinas como: óxidos nitrosos o dióxido de azufre.

Según la agencia de protección del medio ambiente de Estados Unidos, estas partículas son tan pequeñas que al inhalarlas pueden entrar profundamente en los pulmones y en el torrente sanguíneo. En un ser humano esto puede ocasionar problemas de respiración como: asma, tos, irritación en las vías respiratorias y dificultad de respiración. También puede ocasionar problemas de corazón y muerte prematura. Estas partículas también presentan un peligro hacia el medio ambiente debido a que pueden viajar largas distancias en el aire. Estas pueden ser depositadas en la tierra y en el agua. Dependiendo de su composición química estas pueden cambiar la composición y el PH de la tierra y los cuerpos de agua. Esto resulta en un daño a los ecosistemas presentes y diferentes cosechas o bosques más sensibles a la composición de la tierra. Al igual que contribuyen a la creación de la lluvia acida. (EPA, 2017)

3. Dióxido de Carbono

El dióxido de carbono (CO₂) es el gas de efecto invernadero más presente en la atmósfera y su impacto al medio ambiente es grande. El CO₂ es producido por la quema de combustibles fósiles como el gas, carbón y petróleo. Al igual que se produce por la quema de desechos sólidos y biomasa como árboles y materia biológica. CO₂ es parte del ciclo del carbono que gobierna a la mayoría de los seres vivos en la tierra. El ser humano expira CO₂ al respirar y ese mismo se vuelve parte del ciclo donde las plantas y microorganismos lo absorben como parte de su función. Desde que el humano utiliza más fuentes de combustibles para moverse, como fuentes de energía e industria la cantidad de CO₂ ha aumentado significativamente. El CO₂ en cantidades que se están presentando hoy en día aparte que puede ser dañino para el ser humano también tiene un gran impacto en el medio ambiente y en los cambios climáticos que se han visto los últimos años. (EPA, 2017)

4. Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono (CO) también es un producto de una combustión incompleta lo que se puede ver en distintas estufas. Si la acumulación de CO es bastante entonces cualquier ser vivo puede morir de envenenamiento por CO. Según el centro de control y prevención de enfermedades (CDC) los síntomas de larga exposición a CO son parecidos a los de un resfriado en los que uno puede tener dolores de cabeza, mareos, malestar estomacal, vómitos, dolor de pecho y confusión. Muchas personas llegan a sufrir esto sin que algún experto se los diagnostique y es muy común en comunidades donde la leña es su principal fuente de combustible para la cocina. Otro factor que hace al CO peligroso es que es un gas inodoro e incoloro lo que significa que no se puede ver ni se puede oler. (CDC, 2013)

D. Tecnología por implementar

1. TLUD

Top lift up draft o “TLUD” es un gasificador que por sus siglas en inglés se le denomina TLUD que traducido al español quiere decir “Gasificador de tiro de corriente arriba”. El concepto de este gasificador fue desarrollado para ayudar a comunidades de escasos recursos y en vías de desarrollo. Fue diseñado específicamente para ese tipo de comunidades debido a que su concepto era ser una estufa pequeña que pudiera ser utilizada en cualquier lado del mundo y que requiriera poco combustible. Desarrollada por Thomas Reed en 1985 gracias a un viaje a Sudáfrica donde se encontró con la escasez de combustible y con las dificultades de la manera de cocinar de los sudafricanos. Desde ese entonces la idea y las diferentes formas de hacer un TLUD han ido evolucionando y mejorando con el tiempo. (Ewings, 2016)

2. ¿Cómo funciona?

El TLUD tiene una forma bastante única donde la entrada de oxígeno tiene que lograr redireccionar los gases volátiles para que se sigan quemando. La manera en que funciona es que se tiene una cámara de combustión primaria en donde la biomasa es pirolizada y los gases que forman al hacer ese proceso son redireccionados para crear una segunda combustión.

Figura 1: Principio de TLUD



(Ewings, 2016)

Se puede observar el papel importante que juega el oxígeno al entrar al sistema. Se puede ver en la imagen una llama anaranjada donde se da la combustión primaria. En esta combustión primaria el combustible, que en la imagen es un tipo de biomasa de madera, se entra en un proceso de pirolisis donde los gases volátiles son extraídos del combustible. Este gas volátil luego se mezcla con el aire fresco y viaja a

través del espacio que se tiene dentro de la cámara de combustión primaria y el recipiente que contiene a la cámara de combustión primaria. Esta mezcla de gas volátil y aire se va calentando en lo que se vuelve a reintroducir a la cámara de combustión primaria. Al reintroducir la mezcla se genera una combustión secundaria que se puede ver en la imagen como una llama color azul.

3. Ventajas


El sistema y funcionamiento de un TLUD tiene varias ventajas si se compara contra una combustión como la que se tendría en una hoguera. La mayor ventaja es la de las emisiones que este sistema produce. Al tener este funcionamiento donde los gases volátiles se extraen del combustible y se vuelven a quemar. Se tiene un tiempo más largo de combustión que se traduce a menos emisiones. Aparte que un buen contenido de las emisiones de la primera combustión se vuelve a quemar en la segunda combustión. Otra ventaja es la del ahorro de combustible ya que un sistema TLUD tiene un menor uso de combustible. Por último, cabe mencionar que el diseño del funcionamiento es bastante intuitivo.

4. Modelos comerciales

Como cualquier otro producto o idea existen modelos de gasificadores comerciales ya que es una idea desarrollada y con fundamento. Estos modelos comerciales han sido sometidos a pruebas y se les da una calificación dependiendo de su desempeño en diferentes rubros. La mayoría de estos modelos comerciales cuentan con un ventilador que facilita la entrada de aire al sistema y hace que el desempeño sea mejor. La alianza global para estufas limpias se ha tomado el trabajo en desarrollar las diferentes pruebas y clasificaciones para poder crear un catálogo con las estufas comerciales. Actualmente se tiene la disponibilidad de dos gasificadores comerciales uno “Mimi-moto” y el otro “ACE1”. Ambos gasificadores se pueden comprar en el mercado y fueron desarrollados por distintas compañías.

Figura 2: Gasificador Mimi-moto y su clasificación.

Mimi Moto



Manufacturer [Mimi Moto Holding B.V.](http://www.mimimoto.nl/)
Website <http://www.mimimoto.nl/>

Mimi Moto is a Tier 4 forced air gasifier stove. By gasifying wood instead of burning it directly (like on an open fire), gases are extracted and burned. The Mimi Moto has two removable burning chambers. The larger chamber produces a high power flame for cooking with large pots while the small chamber is specially designed for low power simmering. The integrated fan can be powered by a built-in battery pack and/or a separate solar panel for operation in off-grid areas.

IWA tiers of performance


▼ SHOW SUBTIERS

4 Emissions	4 Efficiency	4 Indoor emissions	unrated Safety
----------------	-----------------	-----------------------	-------------------

(Global Alliance For Clean Cookstoves, 2018)

Figura 3: Gasificador Ace 1 y su clasificación.

ACE 1



Manufacturer [African Clean Energy](#)
Website <http://www.africancleanenergy.com/>
African Clean Energy has developed the ACE 1 Ultra-Clean Biomass Cookstove, which burns fuel cleanly. Our new cookstove uses gasification to burn almost any type of biomass. For more information, visit: <http://www.africancleanenergy.com/technology/>

(Global Alliance For Clean Cookstoves, 2018)

Este catálogo ayuda a determinar qué tan buena es la estufa como se demuestra en las figuras anteriores ambas estufas tienen calificaciones en los diferentes rubros. La estufa Mimi-moto es mejor en casi todos los rubros excepto en el de seguridad y la razón es que no se le han efectuado las pruebas de seguridad a ese modelo. Estas estufas sirven como un parámetro de comparación para determinar si la estufa que se elaborará llega a los mismos parámetros o se acerca para que se considere exitosa.

5. Combustible

1. Pellets

El combustible más común para el uso de gasificadores son los pellets. Los pellets son biomasa que se ha comprimido a tal grado que forma un pequeño tronco que se puede utilizar como fuente de combustible para los gasificadores. Esta biomasa es reciclada de algún proceso en donde se utilizó madera y quedaron remanentes de esta madera que ya no se pueden utilizar para el proceso. Un ejemplo de esto sería una carpintería en donde se tienen procesos constantes con madera y el resultado es aserrín que se desecha. El aserrín se guarda y se utiliza para hacer pellets que luego se usan como una alternativa al uso de leña. Los pellets son un combustible renovable y amigables al medio ambiente por su proceso en el que utilizan desechos de biomasa para convertirse en una fuente de energía.

Los aspectos más atractivos de los pellets es que es una fuente de energía renovable, a la hora de ser quemados producen menos material particulado y tienen un bajo costo. Los pellets también tienen la gran ventaja que no solo se pueden manufacturar de desechos de madera, sino que también se pueden manufacturar de desechos provenientes de procesos agrarios. Sin ninguna duda este tipo de combustible es una gran alternativa a la utilización de leña. (Pellet Fuels Institute, 2019)

Figura 4: Pellets.



(Pellet Fuels Institute, 2019)

V.METODOLOGÍA

A. Investigación previa

En septiembre de 2018, se organizó un viaje a Santa Catarina Palopó en conjunto con la organización Link 4 y la universidad estatal de Oregón (OSU). Se logró compartir bastante con la comunidad y aprender sobre sus costumbres. Las costumbres que se lograron explorar fueron sobre las condiciones de vivienda y sobre sus métodos de cocina. En este viaje se trabajó diferentes soluciones para tener un sistema de cocción mejorado. Se plantearon diferentes enfoques para llegar a cubrir varios de los problemas que se tiene con los sistemas de cocción actuales. Algunos de esos problemas son la independencia que se tiene del sistema ya que se tiene que estar tendiendo al fuego debido al uso de leña. Otro problema es la cantidad de emisiones que se produce al cocinar con leña y la contaminación que se tiene tanto adentro como afuera del hogar. También se tiene la inconveniencia que las estufas actuales no son modulares y no se pueden desarmar o cambiar de lugar si se quisiera. En conjunto con los estudiantes de OSU se plantearon diferentes soluciones para los problemas presentados previamente.

Figura 5: Ejemplo de estufa y de costumbres de cocina en Santa Catarina Palopó.



(Elaboración propia, 2018)

En la Figura 4 se puede ver un claro ejemplo de las estufas que se pueden encontrar en la comunidad y se puede ver algunas de las deficiencias que tiene el sistema. Por ejemplo, se hace evidente que el sistema ocupa bastante espacio, no se puede desarmar ya que está hecho con cemento y también usa leña por lo que se tiene que estar cuidando el fuego. Con el conocimiento adquirido sobre la comunidad se trabajó distintos prototipos que pudieran solucionar los problemas que se presentan con los sistemas de cocción actuales. Los

prototipos fueron elaborados con material de bajo costo como cartón, papel, cartulinas, etc. Al tener los prototipos ya elaborados se efectuó una presentación con los miembros de la comunidad para que ellos pudieran dar su retroalimentación sobre que exactamente esperan de dicho sistema de cocción y que aspectos de los prototipos les gustaría que su estufa tuviera. Se hizo una presentación en la cual asistieron bastantes mujeres de la comunidad y ellas pudieron escuchar las explicaciones y se les resolvió sus dudas acerca de los distintos modelos. Al final de la presentación se les pidió a los miembros de la comunidad que votaran por el prototipo que más les gustó.

Figura 6: Prototipo elaborado con la comunidad y OSU.



(Elaboración propia, 2018)

La imagen previa se hace notar el prototipo de una estufa elaborado con materiales de bajo costo como se había mencionado. La comunidad votó que este prototipo era el mejor sobre los demás y sentían que este representaba un modelo que incluía mejoras, pero mantenía un poco la esencia de las estufas actuales. Teniendo la retroalimentación de la comunidad en mente se decidió usar este prototipo como base para elaborar un prototipo más formal para que la comunidad pudiera volver a comentar sobre el modelo y su funcionalidad. Al final toda la retroalimentación es valiosa para poder tener un prototipo final que contenga los requerimientos de la comunidad. Los requerimientos se describen en el Cuadro 2 a más a detalle y son los puntos importantes para la elaboración de una estufa.

Cuadro 2: Primeros requerimientos de la comunidad.

1.	Modularidad	Modularidad quedo como un aspecto importante que se tenía que incorporar en la estufa. Poder armar y desarmar la estufa para que se pudiera transportar a domicilios remotos.
2.	Aspecto estético	El color y aspectos estéticos como los materiales de los que se fabrican la estufa también fue un punto de importancia para la comunidad.
3.	Configuración de plancha	La configuración de la plancha se determinó con la comunidad que la plancha ideal debería de tener una hornilla grande y dos medianas.
4.	Tamaño	El último aspecto importante fue el tamaño. La estufa debería de tener un tamaño que pudiera caber en los domicilios y no ocupar mucho del espacio del domicilio.

(Elaboración propia, 2019)

B. Primer prototipo

El primer prototipo de la estufa se diseñó según los requerimientos establecidos por la comunidad al ver las presentaciones de los distintos modelos elaborados por los miembros de OSU. Se efectuó un diseño que incorporara modularidad, un tamaño más esbelto y un aspecto estético que emulara las estufas que se pueden ver en la comunidad.

1. Diseño

a. Estructura

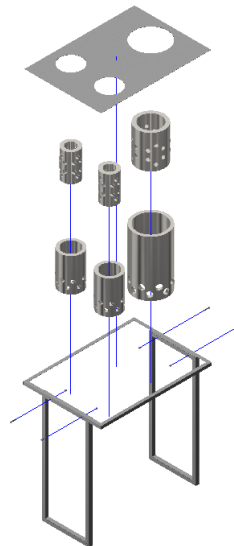
Los aspectos mencionados previamente se fueron los puntos de partida para elaborar un diseño preliminar en *Autodesk Inventor 2017* versión estudiantil. Utilizando bosquejos sencillos se diseñó un modelo de plancha y los soportes que iban a cargar esa plancha. Luego todo se ensambló utilizando tornillos para cumplir con el requerimiento de modularidad. La modularidad fue una consideración de diseño importante para asegurarse que este modelo de estufa se pudiera transportar con facilidad. Igualmente se consideró que no se necesitara de algún experto para armar la estructura.

Figura 7: Diseño preliminar del primer prototipo.



(Elaboración propia, 2019)

Figura 8: Explosión del diseño preliminar del primer prototipo.



(Elaboración propia, 2019)

b. Gasificadores

Los gasificadores del primer prototipo se diseñaron según los gasificadores comerciales con los que se contaba. Viendo el funcionamiento del gasificador Mimi-moto se podía notar que este contaba con dos cilindros en donde tenía que circular el aire para que cumpliera con el funcionamiento. Estos cilindros tenían

que quedar concéntricos y uno debía tener un diámetro mayor que el otro. Además, un cilindro tenía que ser más largo que el otro para asegurar que al introducir uno adentro del otro se tuviera un espacio en la parte inferior para que circulara el aire de entrada. Se decidió optar por un sistema que no utilizará aire forzado para no tener que depender en ventiladores y ningún sistema eléctrico que demandará potencia.

Figura 9: Cilindros Mimi-moto



(Mimi-moto, 2018)

2. Manufactura

a. Estructura

La estructura se manufacturo utilizando tubo cuadrado de una pulgada acero 1018, perfiles angulares de una pulgada y lámina negra por su fácil asequibilidad y bajo costo para poder hacer los perfiles de la estructura. Se cortaron los tubos de manera que se pudiera formar un rectángulo. Se soldaron los tubos para tener perfiles rectangulares.

Figura 10: Perfil rectangular.



(Elaboración propia, 2019)

Estos perfiles rectangulares se utilizaron como los medios de soporte para la estructura al igual que se utilizó un perfil rectangular para hacer la parte superior de la estufa. Con la parte superior de la estufa se le soldó una lámina al perfil para que quedara tapado y tuviera la función de una plancha.

Figura 11: Estructura con plancha.



(Elaboración propia, 2019)

Luego ya teniendo las diferentes piezas estas se unieron utilizando tornillos. Los tornillos ayudan para tener un sistema modular que se pudiera montar y desmontar con facilidad. Al tener un sistema modular también se tiene la ventaja de que se puede transportar el sistema de manera más sencilla. Se le agregaron dos perfiles entre los soportes estructurales para agregar rigidez a la estructura.

Teniendo ya la plancha a esta se le abrió un total de tres agujeros donde se pudieran colocar los gasificadores. Dos agujeros de 20cm de diámetro y un agujero de 30cm de diámetro. Esto se hizo para tener la misma configuración de plancha como se tenía en el prototipo elaborado con los miembros de la comunidad y OSU como se observó en la Figura 5.

Por último, se agregó un estante plegable por uno de los costados de la estructura para que funcionara como una mesa pequeña. Este estante se deslizaba por medio de unas guías que se encontraban soldadas al estante y a la plancha. El estante mantenía su posición al colocarle una pieza de metal plana que se sostenía entre el perfil que agregaba rigidez a la estructura y la parte inferior del estante.

Figura 12: Estante y su manera de soporte.



(Elaboración propia, 2019)

b. Gasificadores:

El primer prototipo de los gasificadores se trabajó utilizando unas secciones de tubos de acero inoxidable a las cuales se les tapo uno de los agujeros con una placa de acero inoxidable. Cada gasificador llevaba dos cámaras una interna y una externa en donde la interna se le introducía el combustible y se generaba la combustión y en la externa se tenía un set de agujeros que permitían la entrada de aire. En la cámara interna se perforó un set de agujeros de $\frac{1}{4}$ " a una pulgada del borde superior y por toda la periferia del cilindro. También se perforó un set de agujeros de $\frac{1}{4}$ " en la parte inferior a una pulgada del borde inferior de la cámara interna. A la cámara externa solo se le perforó un set de agujeros por toda la periferia del cilindro en la parte inferior a una pulgada del borde inferior del cilindro. Por último, se le colocó un anillo al cilindro interior y se dobló el borde superior del cilindro externo para lograr que se quedaran suspendidos en la plancha y para asegurar que el cilindro interno quedara con un espacio en la parte inferior para la entrada de aire. Se hicieron tres gasificadores para que hubiera un gasificador en cada agujero de la plancha. Se hicieron dos gasificadores iguales para los agujeros de 20cm y un gasificador un poco más grande para el agujero de 30cm.

Figura 13: Cilindro interior.



(Elaboración propia, 2019)

Figura 14: Cilindro exterior.



(Elaboración propia, 2019)

Figura 15: Diferencia de altura de los cilindros.



(Elaboración propia, 2019)

Figura 16: Gasificador completo.



(Elaboración propia, 2019)

3. Pruebas

Las pruebas que se le realizaron a este prototipo fueron más que todo cualitativas para verificar los requisitos de la comunidad. Estas pruebas se llevaron a cabo en Santa Catarina Palopó en donde se hizo una presentación pequeña de la estufa. Los miembros de la comunidad lograron interactuar con la estufa y expresar sus opiniones sobre sus componentes. En esta presentación no se logró poner en uso los gasificadores por lo que la comunidad no expresó mucho sobre los gasificadores. Fuera de la comunidad se probó el funcionamiento de los gasificadores y se obtuvo resultados de las emisiones y de inconveniencias con el diseño.

4. Retroalimentación

Cuadro 3: Validación por parte de la comunidad del primer prototipo.

1.	Cocción	La comunidad determinó que el poder cocinar de 5 a 8 tortillas a la vez era algo imperativo para el funcionamiento de la estufa.
2.	Grosor del metal	Se tenía que verificar el grosor del metal que se utilizó en la plancha para que cuando se aplicará calor este se calentara lo suficiente para poder cocinar tortillas.
3.	Altura	Reducir la altura 11.5cm para que quedará más cómodo para la mayoría de las señoras a la hora de cocinar.
4.	Color	El color inicial que se utilizó que fue negro, el cual no les gustó mucho. Se decidió utilizar un color que se puede ver que se utiliza para pintar las casas en Santa Catarina Palopó.
5.	Plancha	La plancha no se parecía a las planchas que se encuentran en las estufas actuales. Se tenía que incorporar una plancha que se pareciera lo más posible a las planchas actuales. No les gustó que los gasificadores estuvieran por encima de la plancha.
6.	Entrepaño	Agregar un entrepaño en la parte inferior de la estructura. Este entrepaño se utilizará para guardar artículos de cocina o el combustible a utilizar.
7.	Estabilidad y soporte	Revisar la estabilidad de la estructura para asegurarse que la estufa no fuera a caerse al ser utilizada.

(Elaboración propia, 2019)

C. Segundo prototipo

En el segundo prototipo se tuvo como punto de partida la retroalimentación que se puede observar en el Cuadro 3. Se empezó por desechar la plancha que se había hecho preliminarmente y se procedió a comprar una ya existente que incorporara bastantes aspectos de la plancha que buscaba la comunidad. Luego se reutilizaron los soportes ya que todavía se podían usar lo único que se tenía que hacer era modificarle la

altura. Se eliminó la mesa desplegable porque causaba inestabilidad a la estructura y se agregaron aspectos estéticos para aumentar la atraktividad del modelo.

1. Diseño:

a. Estructura:

En el segundo prototipo se hicieron modificaciones a la estructura para tomar en cuenta la retroalimentación que se tuvo después de la presentación del primer prototipo. Las modificaciones más grandes que se tuvieron fueron la altura de la estructura, la configuración de la plancha, la eliminación del estante y agregar dos entrepaños.

b. Gasificadores:

Los gasificadores se rediseñaron completamente para tener un funcionamiento más estable. El prototipo anterior presentaba deficiencias que se lograron mejorar al hacer un nuevo prototipo. Este diseño de prototipo se diseñó haciendo pruebas con diferentes configuraciones en las entradas de aire y en los diámetros de los gasificadores.

2. Manufactura:

a. Estructura:

La primera modificación grande que se le hizo fue en los soportes de la estructura. Se les redujo el tamaño debido a que en el primer prototipo había quedado la estructura muy alta, se redujo la altura 11.5cm. Entonces solo se cortaron los perfiles rectangulares y se volvieron a soldar para tener la altura adecuada.

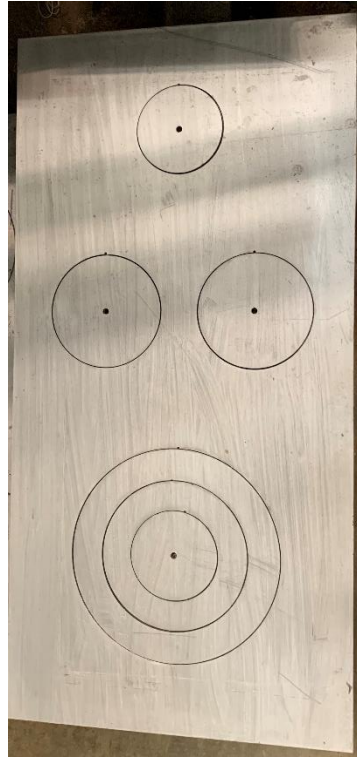
Figura 17: Soportes estructurales modificados.



(Elaboración propia, 2019)

La plancha original del primer prototipo se descartó por el hecho de que no tenía una configuración que se pareciera a las planchas que usan en la comunidad. La plancha del nuevo prototipo ya se compró manufacturada en una ferretería. El material nuevo de la plancha es hierro y está configurada para incluir cuatro hornillas. En la hornilla más pequeña en la parte inferior se le soldó cuatro piezas de metal para hacer una canasta en donde se pudiera colocar uno de los gasificadores.

Figura 18: Plancha nueva.



(Elaboración propia, 2019)

Figura 19: Canasta para la colocación de gasificador.



(Elaboración propia, 2019)

Los entrepaños se realizaron utilizando perfiles angulares en forma de L para crear un marco. Luego a estos si se le soldó una lámina para que quedaran cubiertos. Al entrepaño superior se le hizo un agujero y se le soldaron cuatro piezas de metal para hacer una canasta en donde se pudiera colocar uno de los gasificadores.

Figura 20: Entrepaño superior.



(Elaboración propia, 2019)

Figura 21: Entrepaño inferior.



(Elaboración propia, 2019)

A la estructura se le agregó una barra de metal plana en diagonal para agregarle rigidez. Ya no se utilizaron los perfiles anteriores porque no garantizaban la misma rigidez y la estructura se sentía muy inestable.

Figura 22: Barra de rigidez.



(Elaboración propia, 2019)

La última modificación fue cambiarle el color a la estructura a un color que la comunidad eligió. Cabe mencionar que de igual manera que el primer prototipo todas las piezas van sujetadas por medio de tornillos de 5/16” para su fácil transporte y montaje.

b. Gasificadores:

Después de diferentes pruebas de configuraciones para determinar cómo mejorar el funcionamiento de los gasificadores. Se llegó a un prototipo que presentaba una mejora en comparación al primer prototipo. Las diferentes configuraciones se pueden encontrar en los anexos.

El primer paso para la manufactura de los gasificadores fue utilizar ollas de tres diferentes tamaños de altura y de diámetro. Tiene que haber una olla grande, una mediana y una pequeña que quepan una dentro de la otra. Es importante que las ollas tengan tapaderas.

Figura 23: Ollas.



(Elaboración propia, 2019)

Ya que se tiene las tres ollas se procede a marcar la olla mediana a 10cm del borde inferior de la olla. También se procede a remover las orejas de la olla mediana y de la olla pequeña ya que no tienen ninguna utilidad en el producto final. En la tapadera de la olla grande se marca el diámetro de la olla mediana. Lo mismo se hace para la tapadera de la olla mediana con el diámetro de la olla pequeña.

Figura 24: Marcado de olla mediana.



(Elaboración propia, 2019)

Figura 25: Remoción de orejas.



(Elaboración propia, 2019)

Figura 26: Marcado de diámetro en tapadera.



(Elaboración propia, 2019)

Se procede a cortar la olla mediana por la línea que se le trazó y se cortan las tapaderas para dejar un anillo que se les coloca a las ollas. La razón para el anillo es para tener un espacio libre en donde pueda entrar aire al sistema. Además, ayuda a que no se escapen los gases y que las ollas se puedan asentar de una manera ajustada.

Figura 27: Inserción de anillo.



(Elaboración propia, 2019)

Después de hacer los anillos se procede a marcar la parte inferior de la olla pequeña para tener una guía para donde hacer los agujeros. Los agujeros se hicieron de $\frac{1}{4}$ " y con un espacio de una pulgada entre agujero y agujero. También se continuó haciendo los agujeros de $\frac{1}{4}$ " en la parte superior en toda la periferia de la olla pequeña a una pulgada del borde superior y con un espacio de una pulgada entre agujero y agujero.

Figura 28: Marcado de olla pequeña.



(Elaboración propia, 2019)

Luego se elaboró el concentrador de llama con la sección de olla que se cortó de la olla mediana. Se marcó un agujero de 12cm y se cortó el agujero para que cumpliera la función de concentrar las llamas. El último paso fue abrirle cuatro agujeros en la parte inferior de la olla grande a una distancia de 2cm del borde inferior.

Figura 29: Concentrador de llama.



(Elaboración propia, 2019)

Figura 30: Gasificador grande.



(Elaboración propia, 2019)

Se siguen los mismos pasos para elaborar un gasificador de un menor tamaño. Este se elaboró específicamente para la hornilla más pequeña de la plancha. La mayor diferencia entre el grande y el pequeño son el tamaño de los agujeros que se hacen en la olla pequeña y en la olla grande. En la olla grande solo da espacio para tres agujeros y en la olla pequeña se hacen agujeros de 3/16". Por último, se manufactura otro gasificador grande para satisfacer a las dos hornillas que están en la mitad de la plancha. En total se manufacturaron dos gasificadores grandes y un gasificador pequeño.

3. Pruebas:

Las pruebas de emisiones y de eficiencia se realizaron en la Universidad San Carlos de Guatemala en la facultad de ingeniería. El departamento de investigación de la tecnología de la madera tiene la infraestructura y aparatos de medición necesarios para poder hacer esa clase de pruebas.

a. Emisiones:

Se estableció un ciclo de pruebas para medir las emisiones de la combustión de los gasificadores. Se hicieron pruebas con el gasificador pequeño y con el gasificador grande para determinar la cantidad de emisiones que emitían. Se consiguió equipo para medir la cantidad de emisiones. Se trabajó con tres equipos diferentes para lograr capturar las diferentes emisiones en el ambiente.

Para medir la cantidad del CO₂ del ambiente se utilizó el sensor de calidad de aire Temptop.M2000C. Este sensor incluye una escala de los factores de emisiones en los que es seguro permanecer.

Figura 31: Sensor Temptop



(Elaboración propia, 2019)

Figura 32: Parámetros de emisiones Ttemptop.

Health Parameter Guide							
PM2.5	PM10	AQI	CO2(ppm)	Status	HCHO(mg/m³)	TVOC (mg/m³)	Displayed Contents
0.0-12.0	0-54	0-50	0-700	Good	0-0.1	0-0.5	Safe
12.1-35.4	55-154	51-100	701-1000	Moderate	> 0.1	> 0.5	Unsafe
35.5-55.4	155-254	101-150	1001-1500	Unhealthy for Sensitive Groups			
55.5-150.4	255-354	151-200	1501-2500	Unhealthy			
150.5-250.4	355-424	201-300	2501-5000	Very Unhealthy			
≥250.5	≥425	≥301	≥5001	Hazardous			

(Temptop, 2019)

Para medir el material particulado del ambiente se utilizó el sensor Fluke 985 debido a que mide diferentes cantidades de material particulado.

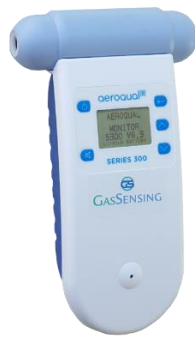
Figura 33: Fluke 985



(Fluke, 2018)

El aparato de medición que se utilizó para medir el nivel de CO producido fue Aeroqual series 300.

Figura 34: Aeroqual series 300



(Aeroqual, 2019)

Teniendo estos tres aparatos de medición se puede capturar un amplio espectro de emisiones producidas por la combustión. Se realizó un montaje bastante sencillo en donde los tres aparatos se colocaron en una base cerámica encima de la plancha en la dirección opuesta en donde se encontraba el gasificador en uso. Se anotaron las medidas del CO₂ y del CO cada dos minutos en tiempo de aproximadamente 1 hora y 20 minutos. Las mediciones del material particulado se descargaron a la computadora ya que el Fluke tiene la gran ventaja que guarda las mediciones que se toman en un rango de tiempo de 5 minutos. Se midieron las emisiones del gasificador grande y del gasificador pequeño. Se tomó las medidas iniciales del CO y CO₂ para poder determinar en el estado en el que se encontraba el aire sin tener ningún fuego activo. Las mediciones se tomaron durante las tres etapas de la prueba de ebullición de agua que se describe en la siguiente etapa de la metodología.

Figura 35: Medición de emisiones.



(Elaboración propia, 2019)

b. Eficiencia:

La prueba de eficiencia se realizó siguiendo los pasos de la guía que el Global Alliance for Clean cookstoves¹⁰ ha publicado en línea. Esta es una prueba muy fácil de seguir y de realizar ya que solo consiste en hervir agua. El primer paso para realizar la prueba es determinar el contenido de humedad que tiene el combustible a utilizar. Se utilizó una balanza de humedad que pesaba el combustible al principio, luego lo secaba para extraer la humedad y de último lo pesaba otra vez. La diferencia de pesos es lo que determinaba la cantidad de humedad en el combustible. Se hizo eso tres veces y se sacó el promedio para tener el porcentaje de humedad del combustible.

Figura 36: Balanza de humedad.



(Elaboración propia, 2019)

Luego de tener el dato de la humedad se continua a pesar el combustible que se va a utilizar. Se procede a pesar también la olla que se utilizará y se pesa la cantidad de agua a utilizar. Se miden las temperaturas iniciales tanto del ambiente como del agua. Se utilizó una termocupla para medir la temperatura del agua durante toda la prueba. Se tomó la hora de inicio de la prueba para determinar la duración de toda la prueba.

La prueba dicta que se tiene que hacer tres etapas. La primera es en frío lo que quiere decir que todo tiene que estar frío. Después de que el agua llega a su punto de ebullición en la etapa fría, se procede a pesar el agua restante, cambiar el agua, pesar el contenido de carbón y pesar el combustible que sobro.

Inmediatamente después se comienza la etapa en caliente donde todo el sistema está caliente por la etapa pasada. Al igual que la etapa anterior se toma la temperatura inicial del agua, el peso del agua y el tiempo de inicio. Cuando el agua llega a su punto de ebullición en la etapa caliente se procede a retirar el agua, pesar lo que quedo de agua, pesar el carbón y pesar el combustible que quedó.

Por último, se realiza la etapa de fuego lento en donde se deja el fuego que se estaba quemando en la etapa caliente. Se deja el fuego por aproximadamente 45 minutos y se mide la temperatura durante esos 45 minutos. Lo ideal es que la temperatura no baje a más de tres grados para que la prueba sea exitosa.

Esta prueba se le hizo al gasificador grande y al gasificador pequeño. Después de tener toda la información, esta se introduce a la hoja de cálculo que provee el protocolo para determinar los diferentes resultados de la eficiencia energética.

Figura 37: Montaje de water boiling test.



(Elaboración propia, 2019)

c. Seguridad

La seguridad de un sistema de cocción es algo que se debe considerar a la hora de diseñar uno. Para medir la seguridad del sistema se realizan varias mediciones para determinar qué tan seguro es nuestro sistema. Esta prueba de seguridad se realiza con el protocolo de seguridad que ha elaborado la Global Alliance for Clean Cookstoves⁹.

El primer paso es determinar si existen bordes afilados. Se agarró un trapo y se pasó alrededor de la estufa para ver cuántas veces este se enganchaba alrededor de toda la estufa. Luego se determina el punto en donde la estufa se vuelca. Para determinar eso se tiene que medir la altura de la estufa. Luego empujarla hasta el punto donde se vaya a volcar en la dirección a la que se está empujando. Se midió la distancia entre el piso y la estufa antes de que esta se volcara.

Se midieron las temperaturas alrededor de los gasificadores y alrededor de la estufa para determinar el peligro que puede haber de quemaduras. Se sacó el área de los gasificadores para ver qué tan bien contenido está el fuego y el combustible. Se midió la altura de la superficie de cocina para poder determinar si existe una obstrucción en la superficie de cocina.

Se tomó registro de las temperaturas de la superficie, de los alrededores de la estufa y de la temperatura del ambiente. Se obtuvo el dato de que tan protegido están los gasificadores para que no entren en contacto con alguien a la hora de estar calientes.

Se observó si a la hora de poner una olla las llamas se quedan contenidas o estas logran salir de alguna forma. Se observó si las llamas salían del gasificador por algún otro orificio que no fuera en el que deben de salir.

El protocolo asigna un valor de importancia al procedimiento que se esté haciendo y dependiendo la importancia se le asigna un valor multiplicativo para darle más peso a la calificación. Por último, se llenó la hoja de cálculo que ofrece el protocolo para obtener los resultados de seguridad de la estufa.

d. Validación con la comunidad

Se organizó un viaje a Santa Catarina Palopó en donde varios miembros de la comunidad lograron interactuar con la estufa. Se logró ver el funcionamiento de la estufa. Además, se probó cocinar tortillas para obtener una retroalimentación final del prototipo más reciente. Se les hizo preguntas a los miembros de la comunidad para tener su opinión honesta sobre el sistema. Se recopiló la valiosa retroalimentación que se obtuvo y queda como recomendaciones para futuras estufas.

Figura 38: Validación de estufa en Santa Catarina Palopó.



(Elaboración propia, 2019)

VI.RESULTADOS Y ANÁLISIS

A. Primer prototipo

1. Validación de la comunidad

La primera validación del primer prototipo de la estufa fue una parte clave para redefinir requerimientos. Esta validación se llevó a cabo en Santa Catarina Palopó en la plaza central donde se reunieron 5 mujeres de la comunidad. Se les pidió que interactuaran con el modelo y que opinaran al respecto. Luego se les preguntó sobre qué opinaban del color, tamaño, modularidad y que cambios le harían. Los requerimientos que se redefinieron fueron: la altura de la estufa, la configuración de la plancha, el peso que debería de aguantar, el color, una manera de armado más sencilla y agregar un entrepaño para colocar utensilios de cocina. Esos fueron los aspectos en los cuales la comunidad expreso su inquietud de manera notoria. Algo que a la comunidad no le gustó fue la plancha ya que no era como una plancha que se podía ver en sus sistemas actuales. No les gustó por la manera en la que estaría distribuido el fuego y por el hecho de que cocinar tortillas iba a ser muy complicado.

Figura 39: Presentación primer prototipo.



(Elaboración propia, 2019)

Cuadro 4: Listado de partes y precio.

Cantidad	Pieza	Precio
1	Tubo estructural cuadrado chapa-14 1x1 de 6 metros	Q75.00-
1	Perfil angular 1X1/8 de 6 metros	Q69.00-
1	Lámina de hierro negro 1/16 de 2X1 metros	Q290.-
4	Tornillos hexagonales 5/16X 1 1/2	Q8.00
4	Tuercas hexagonales 5/16	Q1.20-
1	Galón de pintura negra	Q143.00-
1	Mano de obra	Q1000.00
1	Total	Q1586.20-

(Elaboración propia, 2019)

2. Observaciones de la estructura de la estufa

Al tener la estructura armada y colocada en un terreno un poco desigual se pudo notar que se tenía que trabajar en la estabilidad. La manera en la que se solucionó este problema fue al agregarle una barra en diagonal a la estructura. Esta barra agrega más rigidez al sistema y no permite que los soportes queden libres de moverse. Otra manera que se arregló este problema fue al eliminar la mesa desplegable del primer prototipo. Se eliminó debido a que si se colocaba algo suficientemente pesado se generaba mucho momento. Al generar ese desequilibrio la estufa se volcaba muy fácilmente y eso es algo que no se puede tener cuando se tiene un fuego o cuando se están cocinando alimentos.

3. Observaciones del diseño de los gasificadores

El primer diseño de gasificadores presentaba muchas deficiencias en el funcionamiento las cuales obligaron a un diseño nuevo. Los primeros gasificadores tenían una potencia muy pobre, una llama bastante esporádica, era susceptible a corrientes de aire y la llama se extinguía muy rápido. No eran capaces de quemar toda la carga de combustible que se les alimentaba ya que siempre quedaba combustible sin utilizar. A la hora de colocar los gasificadores debajo de la plancha estos calentaban un área muy pequeña de la plancha lo que se traduce a una producción pequeña de tortillas.

4. Emisiones del primer prototipo de gasificadores

Las emisiones de los primeros gasificadores se compararon con las emisiones de los gasificadores comerciales. Esto se hizo para determinar qué tan limpia era la combustión de los primeros gasificadores.

Cuadro 5: Emisiones primer prototipo y modelos comerciales

	Mimi-moto (comercial)	ACE 1 (comercial)	Prototipo
Pm 2.5 valor mínimo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12.5	37.3	9.4
Pm 2.5 valor máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	27.2	49.4	121.7
Pm 10 valor mínimo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	18.7	50.0	13.3
Pm 10 valor máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	39.2	57.1	157.5
CO2 valor mínimo (ppm)	663	673	563
CO2 valor máximo (ppm)	930	821	718

(Elaboración propia, 2019)

Se puede notar en el Cuadro 2 las diferentes medidas de emisiones que se tomaron. Estas medidas presentan valores bastantes distintos. A simple vista se puede notar que en los valores mínimos del primer prototipo está bastante bajo a comparación de los modelos comerciales. Esto pudo haber sido por que aún no se estaba quemando el combustible y solo se estaba quemando el acelerante de la combustión. Luego en los valores máximos el prototipo, especialmente en los valores del material particulado, si se puede ver que están bastante altos y alejados de los valores de los gasificadores comerciales. Se puede ver que ya presentan valores peligrosos de material particulado y un parámetro no deseable. En los niveles de CO2 los valores para el prototipo están bastante bajos, una explicación por la cual se encontraban más bajos que los modelos comerciales puede ser que simplemente no estaba quemando la misma cantidad de combustible o que la combustión era pobre y por ende la producción de CO2 era baja. Según los parámetros de salud que ofrece Temptop los valores de material particulado ya estaban en un rango no saludable. Cabe mencionar que a la hora del apagado del primer prototipo los niveles de emisiones todas subían hasta el punto máximo de la escala del instrumento de medición, que fue el sensor Temptop M2000C.

B. Segundo prototipo

1. Emisiones de los gasificadores

Las emisiones de los gasificadores del segundo prototipo se midieron durante las tres fases de la prueba de ebullición de agua que se obtuvieron del protocolo de la Global Alliance for Clean Cookstoves¹⁰. Se midieron niveles de CO, CO2 y material particulado para determinar la cantidad de emisiones que los gasificadores emiten. Primero se midió el gasificador grande y después se midió el gasificador pequeño.

Gasificador grande

Cuadro 6: Primera fase de emisiones.

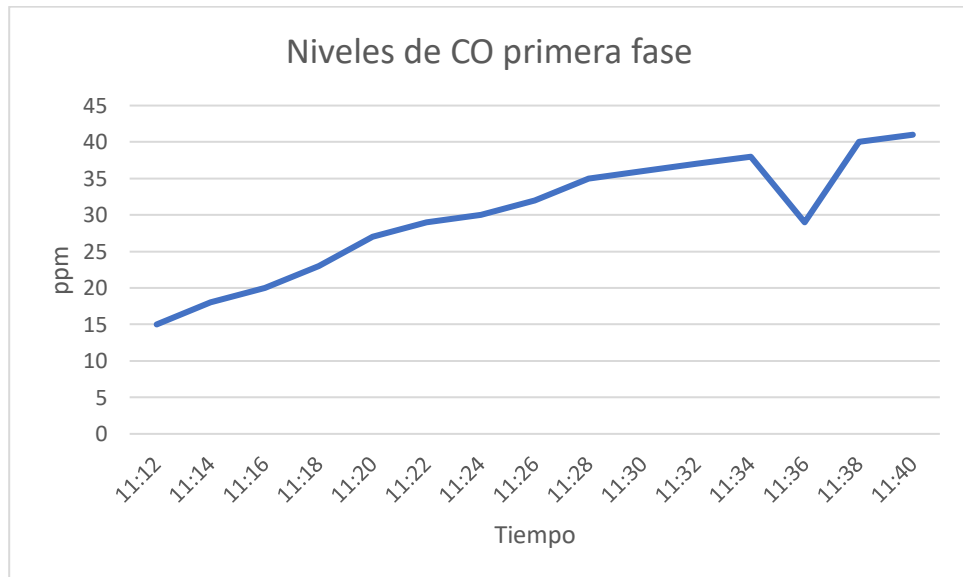
Tiempo	CO (ppm)	CO2 (ppm)
11:12	15	689
11:14	18	725
11:16	20	738
11:18	23	829
11:20	27	869
11:22	29	777
11:24	30	811
11:26	32	750
11:28	35	773
11:30	36	783
11:32	37	784
11:34	38	710
11:36	29	682
11:38	40	1088
11:40	41	772

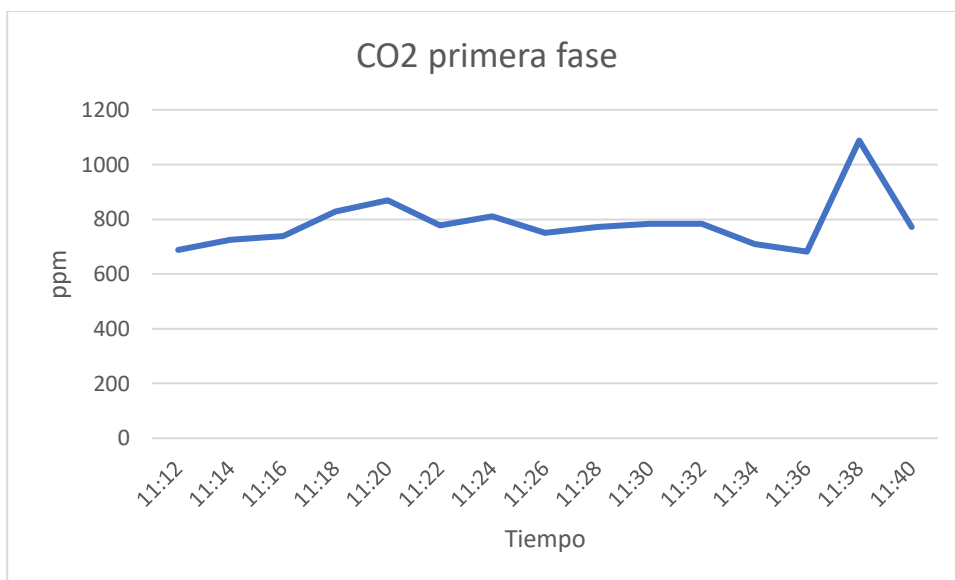
(Elaboración propia, 2019)

Cuadro 7: Valores promedio de emisiones primera fase.

	CO (ppm)	CO2 (ppm)
Promedio	30.00	785.33

(Elaboración propia, 2019)



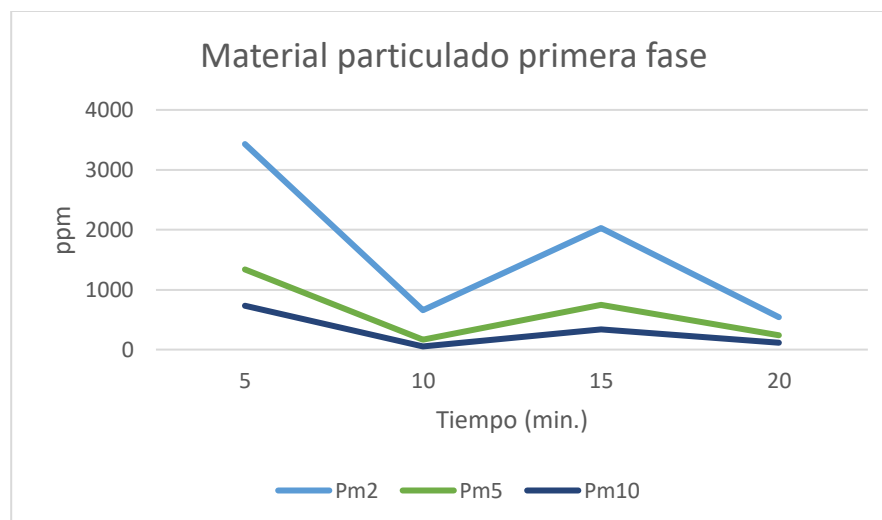


Los niveles de CO tuvieron un comportamiento ascendente donde por su mayoría iban aumentando en lo que transcurría la primera fase. Es un resultado que se esperaría tener en una combustión, pero aun así no son valores fuera de lo común. Los niveles de CO₂ se mantuvieron fluctuando entre un valor promedio de 785.33 partes por millón. Que se haya mantenido constante el valor del CO₂ quiere decir que se mantuvo una combustión constante donde el combustible se estaba mezclando con el oxígeno para producir calor y CO₂. Lo que sí se pudo ver fue un dato atípico donde se tuvo un valor bastante elevado que pudo haber sido por una entrada de oxígeno más alta de lo común.

Cuadro 8: Material particulado primera fase.

Tiempo (min)	Pm2 (ppm)	Pm5 (ppm)	Pm10 (ppm)
5	3430	1337.5	731.5
10	660	165.5	52.5
15	2032	742.5	340.5
20	541	235.5	113.5

(Elaboración propia, 2019)



El material particulado para esta fase mantuvo un comportamiento alto por su mayoría solo hubo un dato que se mantuvo abajo del promedio. El comportamiento de las gráficas que suben y bajan se puede representar como un cambio en la calidad del aire. Se puede notar que en el minuto 5 y minuto 15 fueron los momentos donde el aire se encontraba más saturado de partículas.

Cuadro 9: Segunda fase de emisiones.

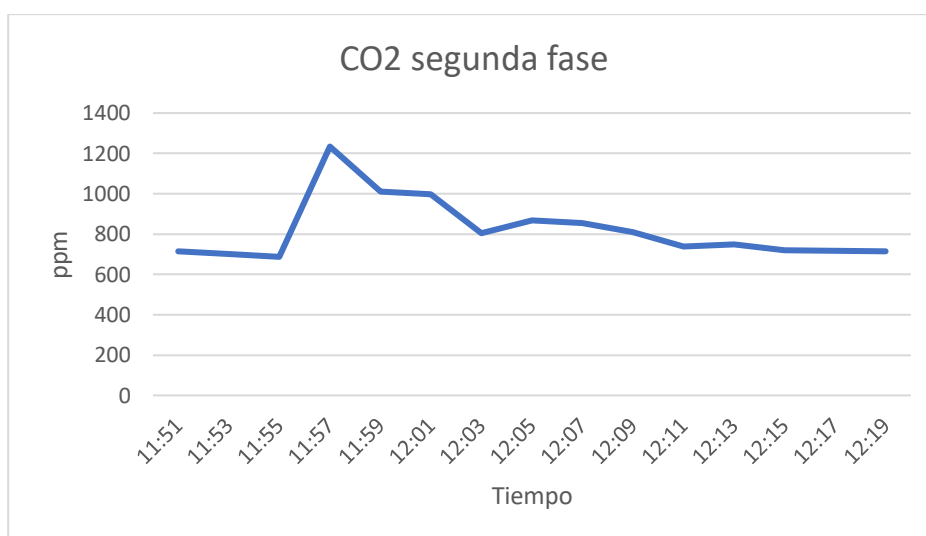
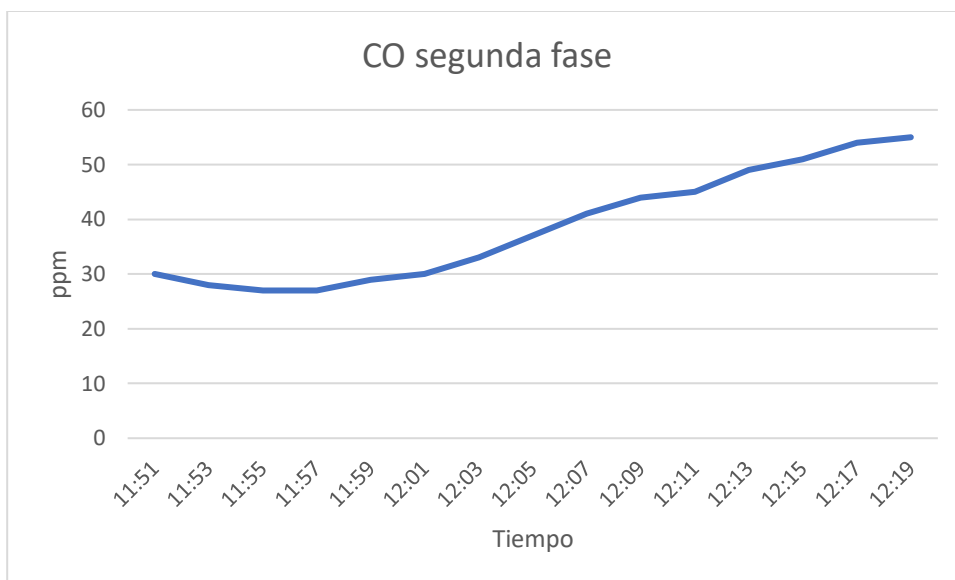
Tiempo	CO (ppm)	CO2 (ppm)
11:51	30	714
11:53	28	701
11:55	27	687
11:57	27	1234
11:59	29	1010
12:01	30	997
12:03	33	805
12:05	37	869
12:07	41	854
12:09	44	810
12:11	45	737
12:13	49	749
12:15	51	720
12:17	54	717
12:19	55	715

(Elaboración propia, 2019)

Cuadro 10: Valores promedio de emisiones segunda fase.

	CO (ppm)	CO2 (ppm)
Promedio	38.67	821.27

(Elaboración propia, 2019)

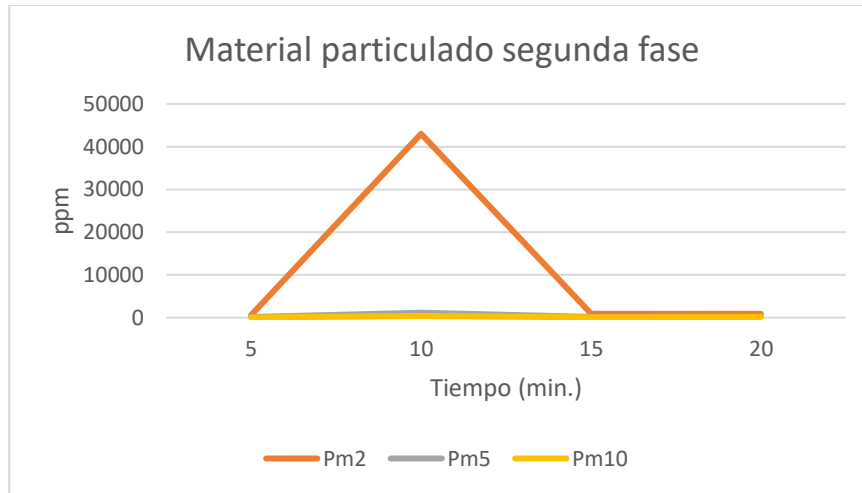


En la segunda fase se puede ver la misma tendencia que se vio en la primera fase con el CO donde este va aumentando mientras transcurre el tiempo. Esto se puede dar debido a que se acumula en el aire y no se disipa rápidamente. Los niveles de CO2 aumentaron al principio de la segunda fase esto es por la cantidad de oxígeno que entro al sistema. Al haber más oxígeno la combustión se intensifica por lo que la producción de CO2, aun así, los valores empiezan a decrecer y se mantienen en un rango constante.

Cuadro 11: Material particulado segunda fase.

Tiempo (min.)	Pm2 (ppm)	Pm5 (ppm)	Pm10 (ppm)
5	573	166.5	66.5
10	43006	1139.5	386.5
15	877	159.5	44.5
20	837	306.5	120.5

(Elaboración propia, 2019)



En la segunda fase se puede notar un incremento de Pm2 en el minuto 10 esto puede ser por la intensificación de la combustión durante ese tiempo. Lo mismo se pudo notar en la gráfica de CO2 que en el principio del tiempo se tuvo un pico de producción de CO2. Esto combinado con las partículas que ya se encontraban presentes pueden explicar esta tasa alta de Pm2.

Cuadro 12: Tercera fase de emisiones.

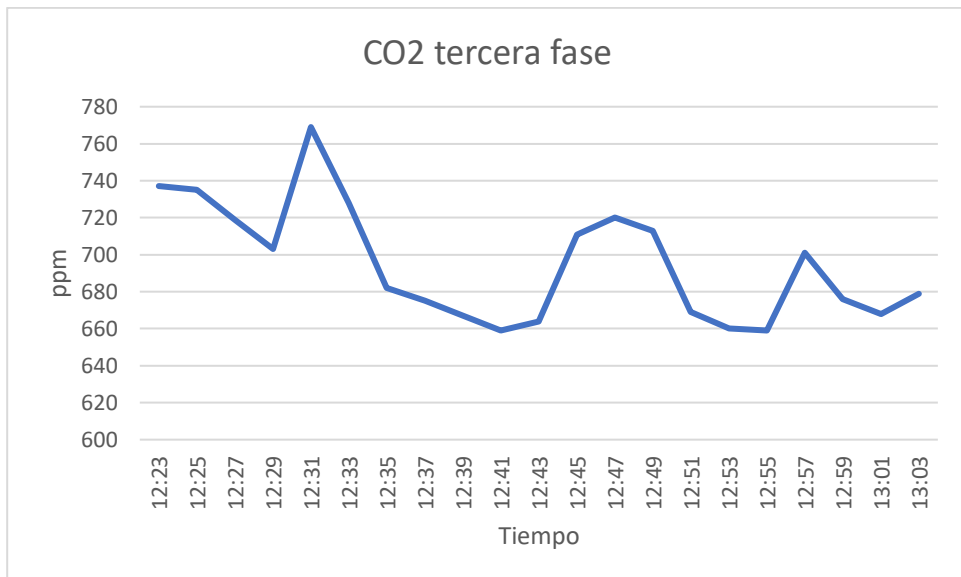
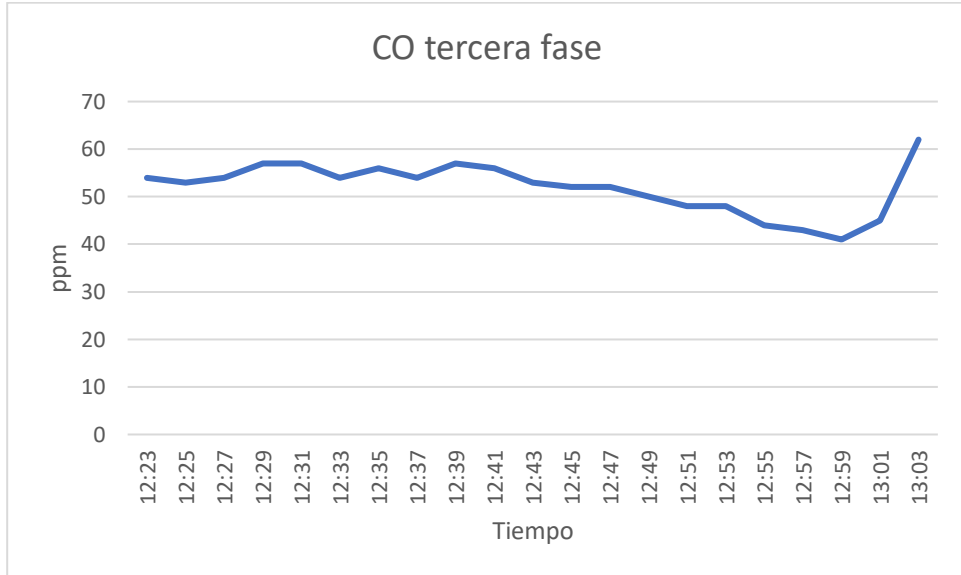
Tiempo	CO (ppm)	CO2 (ppm)
12:23	54	737
12:25	53	735
12:27	54	719
12:29	57	703
12:31	57	769
12:33	54	728
12:35	56	682
12:37	54	675
12:39	57	667
12:41	56	659
12:43	53	664
12:45	52	711
12:47	52	720
12:49	50	713
12:51	48	669
12:53	48	660
12:55	44	659
12:57	43	701
12:59	41	676
13:01	45	668
13:03	62	679

(Elaboración propia, 2019)

Cuadro 13: Valores promedio de emisiones tercera fase.

	CO (ppm)	CO2 (ppm)
Promedio	51.90	694.95

(Elaboración propia, 2019)

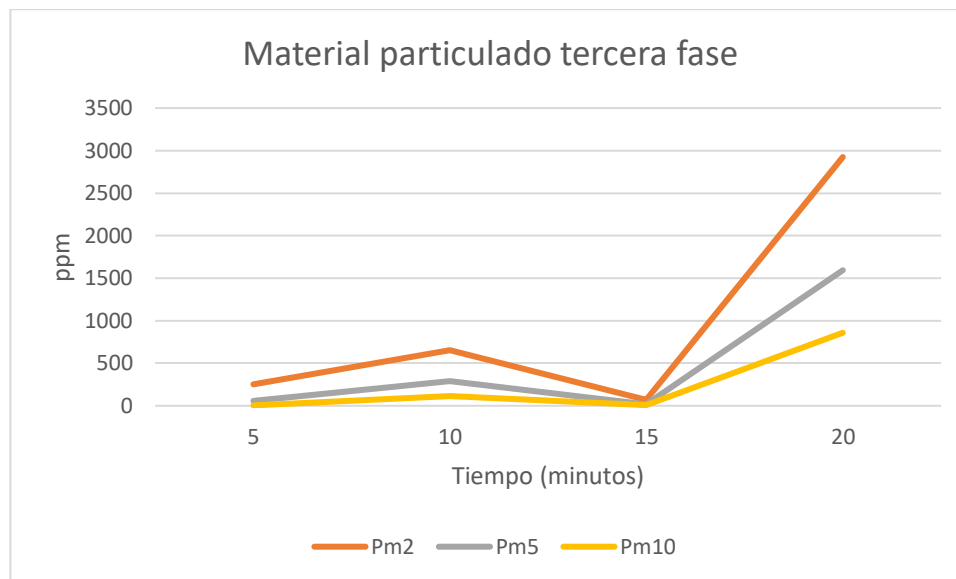


En la fase 3 se pudieron notar tendencias diferentes a las que se habían presentado en las fases anteriores. Esto se debe a que la última fase es una fase de baja potencia y la cantidad de combustible que quedaba ya no era tanta entonces por eso se puede notar valores bajos de CO2. En los valores de CO se puede notar valores que cambian en el tiempo, pero se mantienen en un rango cercano lo cual es bueno porque significa que no se tenía una emisión que incrementaba si no se mantenía casi constante.

Cuadro 14: Material particulado tercera fase.

Tiempo (min.)	Pm2 (ppm)	Pm5 (ppm)	Pm10 (ppm)
5	253	59.5	4.5
10	652	288.5	113.5
15	70	16.5	6.5
20	2924	1593.5	858.5

(Elaboración propia, 2019)



Se puede notar que en la tercera fase el material particulado producido no eran valores tan altos hasta el final de la prueba. Los valores crecientes al final de la prueba se deben al apagado del sistema y que a la hora de apagar la estufa en ocasiones esta la posibilidad de una alta presencia de humo. La alta presencia de humo llega a ocasionar altos niveles de material particulado debido a la ausencia de oxígeno en la combustión.

Gasificador pequeño

El gasificador pequeño también se sometió a pruebas de emisiones durante las tres fases de la prueba de eficiencia energética.

Figura 40: Prueba de gasificador pequeño.



(Elaboración propia, 2019)

Cuadro 15: Emisiones primera fase.

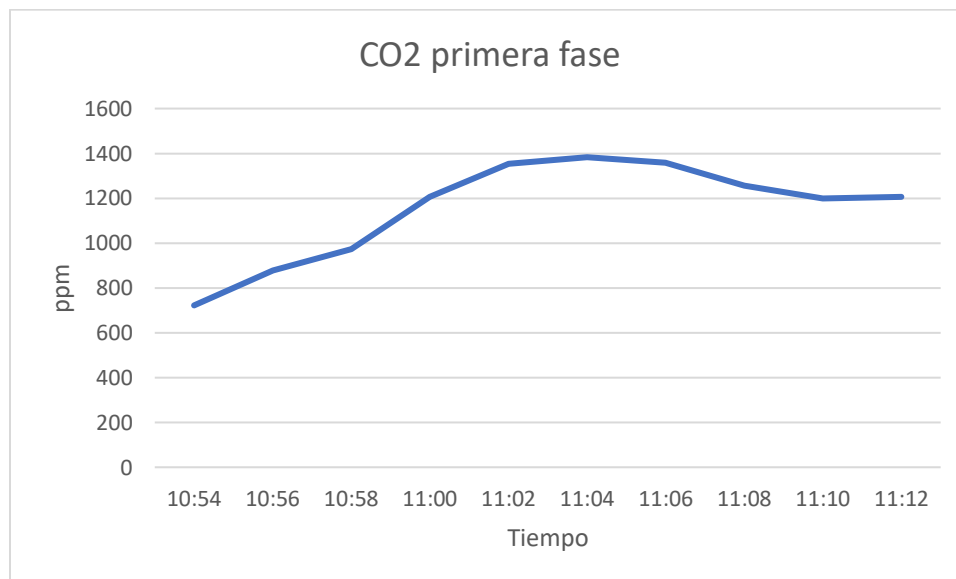
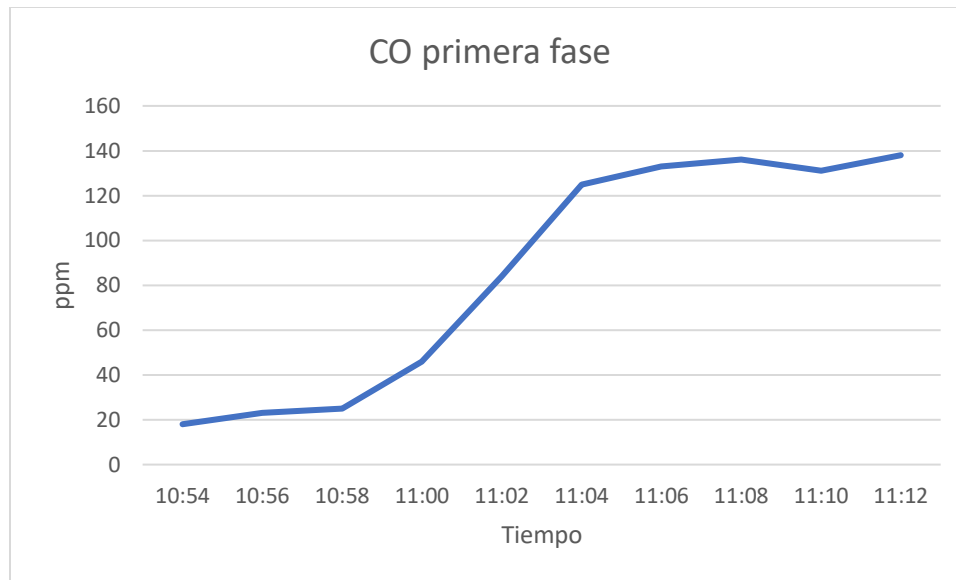
Tiempo	CO (ppm)	CO2 (ppm)
10:54	18	722
10:56	23	879
10:58	25	974
11:00	46	1206
11:02	84	1354
11:04	125	1383
11:06	133	1359
11:08	136	1255
11:10	131	1199
11:12	138	1205

(Elaboración propia, 2019)

Cuadro 16: Valores promedio de emisiones primera fase.

	CO (ppm)	CO2 (ppm)
Promedio	85.9	1153.6

(Elaboración propia, 2019)

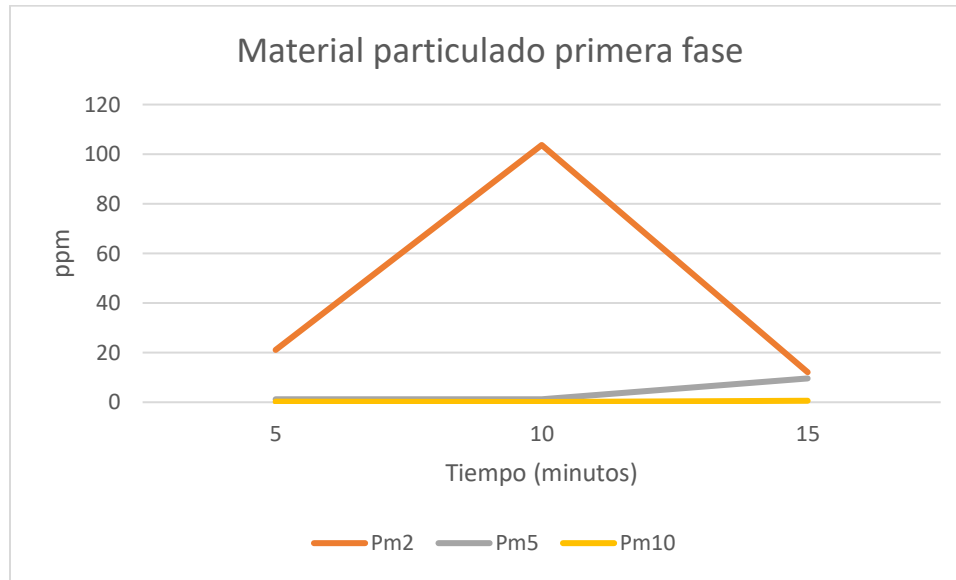


En la primera fase las emisiones de CO y de CO₂ las dos incrementaron, aunque se puede ver en la gráfica del CO que este valor incremento de una manera más rápida. Este es un incremento esperado ya que se tiene un fuego abierto presente y que los valores de CO₂ hayan incrementado no significa que sea algo malo dependiendo del punto de vista. Depende del punto de vista porque valores altos de CO₂ significa que hay una buena combustión, pero si se ve del punto de vista de emisiones depende del rango en el que se encuentre para saber si los valores son saludables o dañinos. En este caso los valores se encuentran en un rango saludable pero aun así no se recomienda estar constantemente expuesto a niveles altos de CO₂.

Cuadro 17: Material particulado primera fase.

Tiempo (min.)	Pm2 (ppm)	Pm5 (ppm)	Pm10 (ppm)
5	0.8	1.2	0.2
10	22.2	9.6	0.4
15	170.4	2.9	0.4

(Elaboración propia, 2019)



En la primera fase se presentaron valores bajos de material particulado esto se debe a que el aire aún se encontraba en un estado muy limpio y libre de material en el ambiente. Cabe mencionar que el material que está presente en el ambiente no todo proviene de la combustión. En la gráfica se muestra un valor elevado de Pm2, aunque se vea elevado en comparación con las otras gráficas del gasificador grande el valor sigue siendo bajo.

Cuadro 18: Emisiones segunda fase.

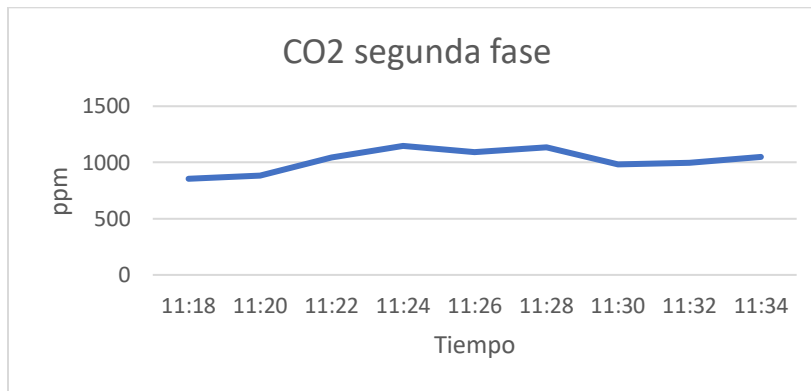
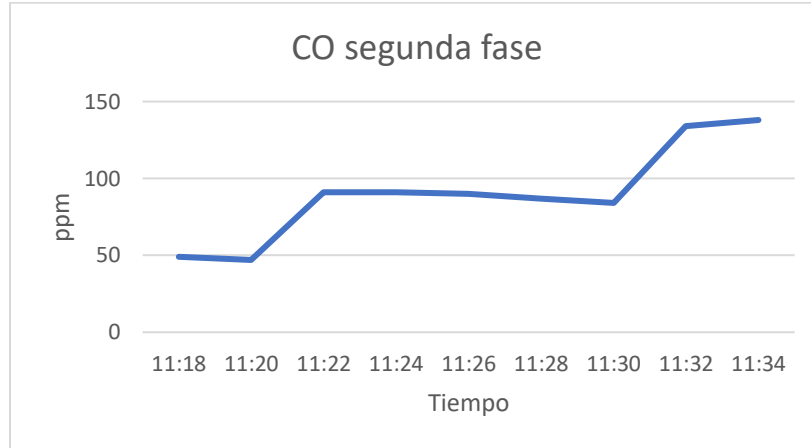
Tiempo	CO (ppm)	CO2 (ppm)
11:18	49	855
11:20	47	885
11:22	91	1044
11:24	91	1147
11:26	90	1093
11:28	87	1135
11:30	84	983
11:32	134	996
11:34	138	1047

(Elaboración propia, 2019)

Cuadro 19: Valores promedio de emisiones segunda fase.

	CO (ppm)	CO2 (ppm)
Promedio	90.11	1020.56

(Elaboración propia, 2019)

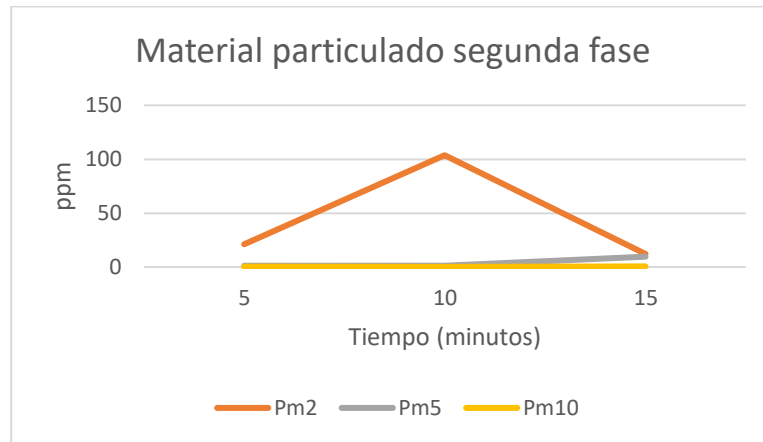


En la segunda fase se pudo notar que los valores ya no tuvieron un incremento tan exagerado como en la primera fase. Estos valores ya se mantuvieron en un rango mucho más cercanos al promedio de CO2 de 1020.56. Esto es porque al tener una combustión constante donde el combustible ya se está quemando constantemente sin ayuda de ningún acelerante.

Cuadro 20: Material particulado segunda fase.

Tiempo (min.)	Pm2 (ppm)	Pm5 (ppm)	Pm10 (ppm)
5	1252.4	121.6	5.4
10	3571.5	127.4	0.9
15	403.6	16.9	0.1

(Elaboración propia, 2019)



En la segunda fase se puede observar una tendencia similar a la primera fase en la cual solo el material particulado Pm2 presenta un incremento bastante alto. Esto quiere decir que se encontraban bastantes partículas de un diámetro de dos micrómetros. La producción de partículas y el aumento de esa manera se da por la cantidad de oxígeno que se encuentra presente ya que esto alimenta a la combustión.

Cuadro 21: Emisiones tercera fase.

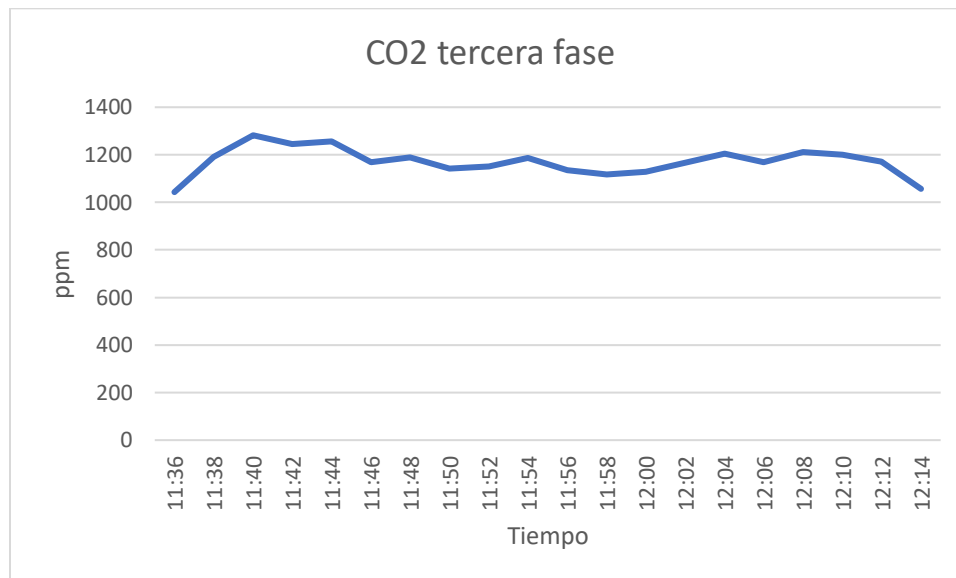
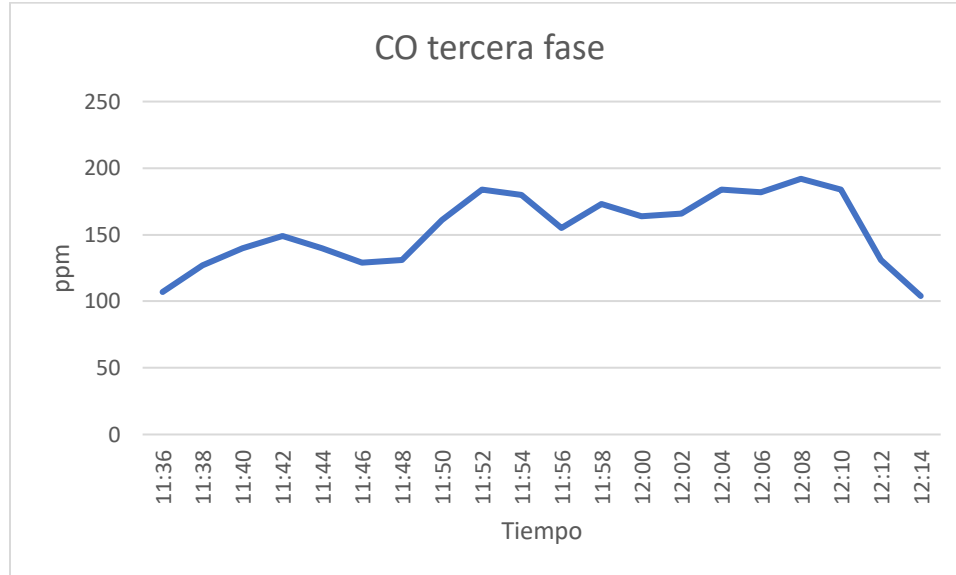
Tiempo	CO (ppm)	CO2 (ppm)
11:36	107	1043
11:38	127	1191
11:40	140	1282
11:42	149	1246
11:44	140	1256
11:46	129	1169
11:48	131	1189
11:50	161	1143
11:52	184	1150
11:54	180	1187
11:56	155	1135
11:58	173	1118
12:00	164	1128
12:02	166	1166
12:04	184	1204
12:06	182	1169
12:08	192	1212
12:10	184	1200
12:12	131	1170
12:14	104	1057

(Elaboración propia, 2019)

Cuadro 22: Valores promedio de emisiones tercera fase.

	CO (ppm)	CO2 (ppm)
Promedio	154.15	1170.75

(Elaboración propia, 2019)

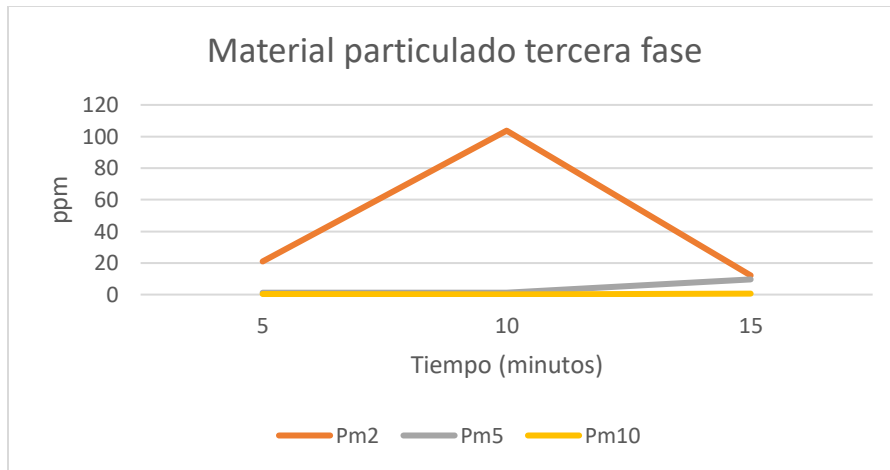


Los niveles de emisiones de la tercera fase de CO2 demuestran una combustión constante donde la producción de CO2 se mantiene en valores cercanos al promedio de 1170.75 partes por millón. Los valores de CO se mantuvieron fluctuando durante la tercera fase, pero aun así no se obtuvo valores extremadamente altos.

Cuadro 23: Material particulado tercera fase.

Tiempo (min)	Pm2 (ppm)	Pm5 (ppm)	Pm10 (ppm)
5	21	1.2	0.2
10	103.7	1.2	0.1
15	12.1	9.6	0.6

(Elaboración propia, 2019)



En la tercera fase la misma tendencia se mantuvo donde el material particulado Pm2 es el que más aumenta mientras los valores de Pm5 y Pm10 se mantienen bajos. Esta tendencia que en el minuto 10 el nivel de material particulado se eleve de esa manera solo se puede explicar con la acumulación de partículas que se encuentra en ese momento. Estas partículas no se logran disipar hasta el minuto 15 donde ya se ve que los valores bajan.

Comparación:

Estos valores no son representativos si no se tiene un parámetro de comparación entonces para compararlos se utilizaron los datos de mediciones de emisiones de estufas con fuego abierto para los niveles de CO y CO₂. Luego para los niveles de material particulado se compararon los niveles de material particulado desechados por los gasificadores contra los niveles de material particulado desechados por el combustible a utilizar.

Cuadro 24: Niveles de CO y CO₂ en estufas de fuego abierto.

	CO partes por millón	CO ₂ partes por millón
Promedio	250	1250
Promedio	300.3	1500

(Rivera, 2017)

En el Cuadro 21 se encuentra el parámetro de comparación que se tuvo para determinar si los gasificadores si lograban reducir emisiones. Se encuentran dos promedios que se obtuvieron de dos pruebas de los niveles de CO y CO2. Tanto el gasificador grande como el pequeño ninguno obtuvo un valor promedio mayor al que se presenta en las estufas de fuego abierto.

Cuadro 25: Valores promedio de emisiones de gasificador grande durante las tres fases.

	CO (ppm)	CO2 (ppm)
Promedio	40.19	767.18

(Elaboración propia, 2019)

Cuadro 26: Valores promedio de emisiones de gasificador pequeño durante las tres fases.

	CO (ppm)	CO2 (ppm)
Promedio	110.05	1114.97

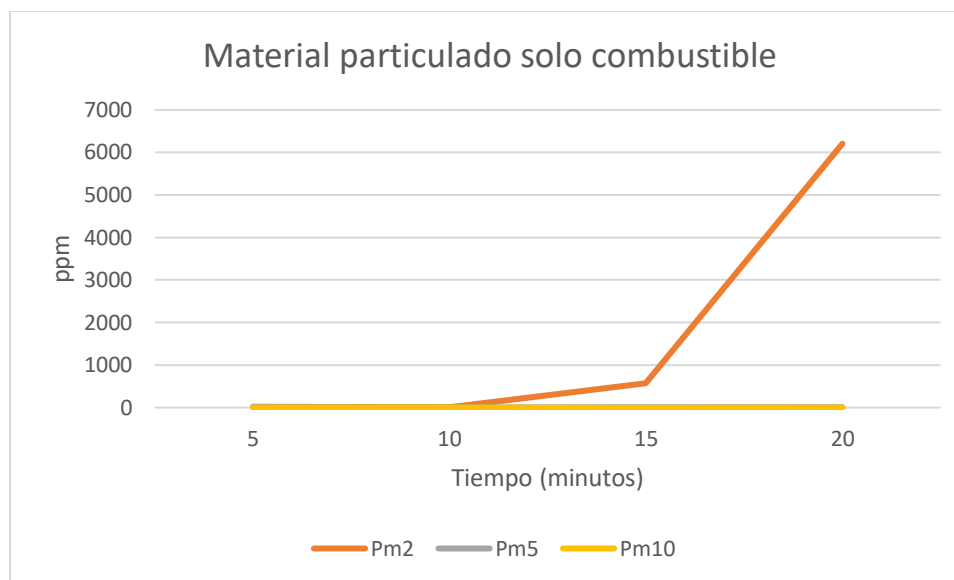
(Elaboración propia, 2019)

Como se puede ver en el Cuadro 22 y en el 23 los valores promedio de los gasificadores están por debajo de los de una estufa que utilizaría alguien en una comunidad. Esto significa que los gasificadores si lograron disminuir las emisiones. Es necesario entender que se están analizando los valores promedio porque si se obtuvo valores que se acercaban a los valores promedio que presenta el Cuadro 21.

Cuadro 27: Material particulado de combustible sin gasificador.

Tiempo (min)	Pm2 (ppm)	Pm5 (ppm)	Pm10 (ppm)
5	14.7	5	0.2
10	7.8	1.9	0.2
15	571.2	6.4	0.5
20	6205.1	9.8	0.8

(Elaboración propia, 2019)



Si se compara las gráficas del material particulado de los gasificadores contra la de solo el combustible se puede notar que el material particulado Pm5 y Pm10 se comportan de una manera muy similar. La gran diferencia es que cuando solo se quema el combustible sin el uso de los gasificadores el material particulado Pm2 incrementa. Esto puede ser por no llevar un proceso de gasificación o por la calidad en la que se encontraba el aire en los momentos de realizar la prueba. La presencia de humo en la quema de solo el combustible sin el uso de los gasificadores presenta una explicación razonable por la cual los valores del material particulado aumentan después del minuto 15.

2. Eficiencia energética

La eficiencia energética se midió utilizando el protocolo de pruebas de la Global Alliance for Clean Cookstoves¹⁰. La eficiencia energética según el protocolo se mide al hervir cierta cantidad de agua y tomando el tiempo que se tarda el agua en llegar a su punto de ebullición. Los datos que se tienen que ingresar a la hoja de cálculo son el tiempo en que se tardó en hervir el agua. Eso se coloca como la hora de inicio y fin de la prueba. Se ingresan los datos del peso del combustible antes y después de la prueba. Se ingresan los datos del peso del agua y los valores de la temperatura del agua antes y después de la prueba. Con estos datos la hoja de cálculo es capaz de resolver para encontrar diferentes parámetros que pueden ser útiles para caracterizar a una estufa. Simplemente con tener el dato de la masa del agua antes y después de la prueba, al igual que teniendo el dato de las temperaturas ya se puede obtener la energía útil que provee el sistema. Luego eso se compara con el consumo de combustible que se obtiene al pesar la masa del combustible antes y después de la prueba y se obtiene la eficiencia energética.

Entrada de datos gasificador grande:

Figura 41: Datos de entrada en la hoja de cálculo del protocolo de prueba de eficiencia.

TEST #1		COLD START HIGH POWER				HOT START HIGH POWER (OPTIONAL)				SIMMER TEST			
Measurements	Units	Start		Finish: when Pot #1 boils		Start		Finish: when Pot #1 boils		Start		Finish: 45 min	
		data	label	data	label	data	label	data	label	data	label	data	label
Time (in 24 hour form)	hr:min	10:58	t _i	11:42	t _f	11:51	t _i	12:18	t _f	12:23	t _i	13:03	t _f
Weight of fuel	g	1860	f _i	1070	f _f	1860	f _i	1150	f _f	1150	f _i	-	f _f
Water temperature, Pot # 1	°C	21.2	T1 _i	92.0	T1 _f	21.3	T1 _i	92.0	T1 _f		T1 _i		T1 _f
Water temperature, Pot # 2	°C		T2 _i		T2 _f		T2 _i		T2 _f		T2 _i		T2 _f
Water temperature, Pot # 3	°C		T3 _i		T3 _f		T3 _i		T3 _f		T3 _i		T3 _f
Water temperature, Pot # 4	°C		T4 _i		T4 _f		T4 _i		T4 _f		T4 _i		T4 _f
Weight of Pot # 1 with water	g	5360	P1 _i	5170	P1 _f	5360	P1 _i	5190	P1 _f	5190	P1 _i	4340	P1 _f
Weight of Pot # 2 with water	g		P2 _i		P2 _f		P2 _i		P2 _f		P2 _i		P2 _f
Weight of Pot # 3 with water	g		P3 _i		P3 _f		P3 _i		P3 _f		P3 _i		P3 _f
Weight of Pot # 4 with water	g		P4 _i		P4 _f		P4 _i		P4 _f		P4 _i		P4 _f
Fire-starting materials (if any)	-												
Weight of charcoal+container	g			1510	c _i			1510	c _i			1850	c _i

(Elaboración propia, 2019)

Los resultados para el gasificador grande fueron:

Figura 42: Resultados eficiencia energética gasificador grande.

Calculations/Results	Units	COLD START		HOT START		SIMMER TEST (CALCULATIONS DIFFER FROM HIGH POWER TEST)			
		data	label	data	label	Units	data	label	
Fuel consumed (moist)	g	790	f _{cm}	710	f _{fm}	Fuel consumed during the simmer phase (n	g	1,150	f _{sm}
Net change in char during test	g	-	Δc _c	-	Δc _h	Net change in char during test phase	g	340	Δc _s
Equivalent dry fuel consumed	g	727	f _{cd}	653.5665	f _{hd}	Equivalent dry fuel consumed	g	481	f _{sd}
Water vaporized from all pots	g	190	w _{cv}	170	w _{hv}	Water vaporized	g	850	w _{sv}
Effective mass of water boiled	g	4,810	w _{ev}	4,830	w _{hv}	Water remaining at end - All Pots	g	3,980	w _{ev}
Time to boil Pot # 1	min	44	Δt _c	27	Δt _h	Time of simmer (should be ~45 minutes)	min	40	Δt _s
Temp-corr time to boil Pot # 1	min	47	Δt _c ^T	29	Δt _h ^T	Thermal efficiency	%	23%	h _s
Thermal efficiency	%	15%	h _c	16%	h _h	Burning rate	g/min	12.0	r _{sb}
Burning rate	g/min	16.5	r _{cb}	24.2	r _{hb}	Specific fuel consumption	g/liter remainin	120.8	SC _s
Specific fuel consumption	g/liter boiled	151	SC _c	135.314	SC _h	Firepower	watts	3480	FP _s
Temp-corr sp consumption	g/liter	160.155348	SC _c ^T	143.5438	SC _h ^T	Turn down ratio	--	1.37	TDR
Temp-corr sp energy consumpt.	kJ/liter	2,781	SE _c ^T	2,493	SE _h ^T	Specific Energy Consumption	kJ/liter	2,098	SE _s
Firepower	watts	4783	FP _c	7005	FP _h	Fuel Benchmark to Complete 5L WBT	g	1,363	BF
						Energy Benchmark to Complete 5L WBT	kJ	23,675	BE

(Elaboración propia, 2019)

Entrada de datos gasificador pequeño:

Figura 43: Entrada de datos en la hoja de cálculo del protocolo de prueba de eficiencia.

TEST #2		COLD START HIGH POWER				HOT START HIGH POWER (OPTIONAL)				SIMMER TEST			
Measurements	Units	Start		Finish: when Pot #1 boils		Start		Finish: when Pot #1 boils		Start		Finish: 45 min	
		data	label	data	label	data	label	data	label	data	label	data	label
Time (in 24 hour form)	hr:min	10:52	t _i	11:11	t _f	11:18	t _i	11:34	t _f	11:36	t _i	12:14	t _f
Weight of fuel	g	420	f _i	330	f _f	420	f _i	340	f _f	340	f _i	-	f _f
Water temperature, Pot # 1	°C	17.8	T1 _i	92.0	T1 _f	22.5	T1 _i	92.0	T1 _f	90.0	T1 _i	90.3	T1 _f
Water temperature, Pot # 2	°C		T2 _i		T2 _f		T2 _i		T2 _f		T2 _i		T2 _f
Water temperature, Pot # 3	°C		T3 _i		T3 _f		T3 _i		T3 _f		T3 _i		T3 _f
Water temperature, Pot # 4	°C		T4 _i		T4 _f		T4 _i		T4 _f		T4 _i		T4 _f
Weight of Pot # 1 with water	g	750	P1 _i	720	P1 _f	750	P1 _i	740	P1 _f	740	P1 _i	530	P1 _f
Weight of Pot # 2 with water	g		P2 _i		P2 _f		P2 _i		P2 _f		P2 _i		P2 _f
Weight of Pot # 3 with water	g		P3 _i		P3 _f		P3 _i		P3 _f		P3 _i		P3 _f
Weight of Pot # 4 with water	g		P4 _i		P4 _f		P4 _i		P4 _f		P4 _i		P4 _f
Fire-starting materials (if any)	-												
Weight of charcoal+container	g			420	c _i			420	c _i			510	c _i

(Elaboración propia, 2019)

Resultados gasificador pequeño:

Figura 44: Resultados eficiencia energética gasificador pequeño.

Calculations/Results	Units	COLD START		HOT START		SIMMER TEST (CALCULATIONS DIFFER FROM HIGH POWER TEST)			
		data	label	data	label	Units	data	label	
Fuel consumed (moist)	g	90	f_{cm}	80	f_{hm}	Fuel consumed during the simmer phase (n	g	340	f_{sm}
Net change in char during test	g	-	ΔC_c	-	ΔC_h	Net change in char during test phase	g	90	ΔC_s
Equivalent dry fuel consumed	g	86	f_{cd}	76.32736	f_{hd}	Equivalent dry fuel consumed	g	171	f_{sd}
Water vaporized from all pots	g	30	w_{cv}	10	w_{hv}	Water vaporized	g	210	w_{sv}
Effective mass of water boiled	g	470	w_{cw}	490	w_{hw}	Water remaining at end - All Pots	g	280	w_{sw}
Time to boil Pot # 1	min	19	Δt_c	16	Δt_h	Time of simmer (should be ~45 minutes)	min	38	Δt_s
Temp-corr time to boil Pot # 1	min	19	Δt_c^T	17	Δt_h^T	Thermal efficiency	%	16%	h_s
Thermal efficiency	%	15%	h_c	13%	h_h	Burning rate	g/min	4.5	r_{sb}
Burning rate	g/min	4.5	r_{cb}	4.8	r_{hb}	Specific fuel consumption	g/liter remainin	612.5	SC_s
Specific fuel consumption	g/liter boiled	183	SC_c	155.7701	SC_h	Firepower	watts	1306	FP_s
Temp-corr sp consumption	g/liter	184.6682625	SC_c^T	168.0973	SC_h^T	Turn down ratio	-	1.00	TDR
Temp-corr sp energy consumpt	kJ/liter	3,207	SE^T_c	2,919	SE^T_h	Specific Energy Consumption	kJ/liter	10,635	SE_s
Firepower	watts	1308	FP_c	1381	FP_h	Fuel Benchmark to Complete 5L WBT	g	3,944	BF
						Energy Benchmark to Complete 5L WBT	kJ	68,488	BE

(Elaboración propia, 2019)

La mayor diferencia entre el gasificador pequeño y el grande fue la eficiencia energética en la fase de baja potencia o de fuego lento. En la del gasificador grande se puede ver un 23% de eficiencia y en la del gasificador pequeño se puede ver un 16% esto puede ser porque el gasificador grande tuvo un tiempo más largo de quemado debido a que puede contener más combustible.

Cuadro 28: Resultados estufa fuego abierto.

Modelo de estufa	Fogón abierto usando pino							
Basic Operation	units	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Average	St Dev
Eficiencia en Frio	%	15	14.5	15.5	15	15	15	0.35355
Eficiencia en caliente	%	15	15	15.5	15	15	15.1	0.22360
Eficiencia alta potencia	%	17	18	17	17	16	17	0.70710
Leña húmeda consumida	g	5,180	4,270	6,710	5,472	5,475	5421.4	873.200
Peso de carbón remanente	g	360	560	410	415	412	431.4	75.3976
Consumo específico de combustible	g/kg	497	398	695	545	495	525.9914	108.7537
Potencia	watts	12,862	8,510	17,058	13,458	14,785	13334.66	3141.5687
Leña seca consumida	g	3,728	2,666	5,091	3,456	4,575	3903.234	951.9286
Monóxido de carbono	g/min	34.5	35	36	36	37	35.6	0.96176
Material particulado 2.5	mg/min	960	955	945	975	954	957.8	11.03177
Consumo de energía	units	Test 1	Test 2	Test 3			Average	St Dev
Energy Consumption Rate	kJ/min	772	511	1,023	875	758	788	187.828
Consumo específico de energía	kJ/liter	8,741	6,999	12,236	7,545	8,545	8,813	2042.586
Total de energía consumida	kJ	63,283	44,934	86,994	57,451	59,754	62,483	15347.455

(Rivera, 2017)

Comparando el desempeño de los gasificadores contra la de la estufa de fuego abierto se puede ver que los resultados están bastante similares. La mayor diferencia sería entre el gasificador pequeño en la fase de eficiencia en caliente ya que presentó un 13% de eficiencia. Luego la otra diferencia es la del gasificador grande en la fase de fuego lento ya que presentó una eficiencia de 23%. Aun así, las eficiencias energéticas presentan un valor bajo, la razón por la cual el valor es bajo es porque la energía que se tiene de la combustión no se está transfiriendo en su totalidad al recipiente o al agua que se está haciendo hervir. Mucha de la energía se pierde al calentar los alrededores de la estufa. Al igual que hay pérdidas de energía hacia el ambiente debido a que la estructura no es cerrada.

3. Seguridad

Los resultados de la seguridad de la estufa se obtuvieron al seguir el protocolo de seguridad de la Global Alliance for Clean Cookstoves ⁹. Se obtuvo un resultado de 80.5 que luego eso entra en una escala donde se determina si la estufa es muy buena, buena, promedio, pobre o mala. Con el puntaje de 80.5 se determina que la estufa es promedio que no es ni tan buena pero tampoco es pobre o mala. Este nivel de seguridad puede aumentar al cambiar de dirección los tornillos que sirven para ensamblar la estufa y colocar otras tuercas que no sean de mariposa. Al cambiar los tornillos se obtiene un valor de 85 en donde la estufa ya se puede calificar como buena.

4. Análisis estructural

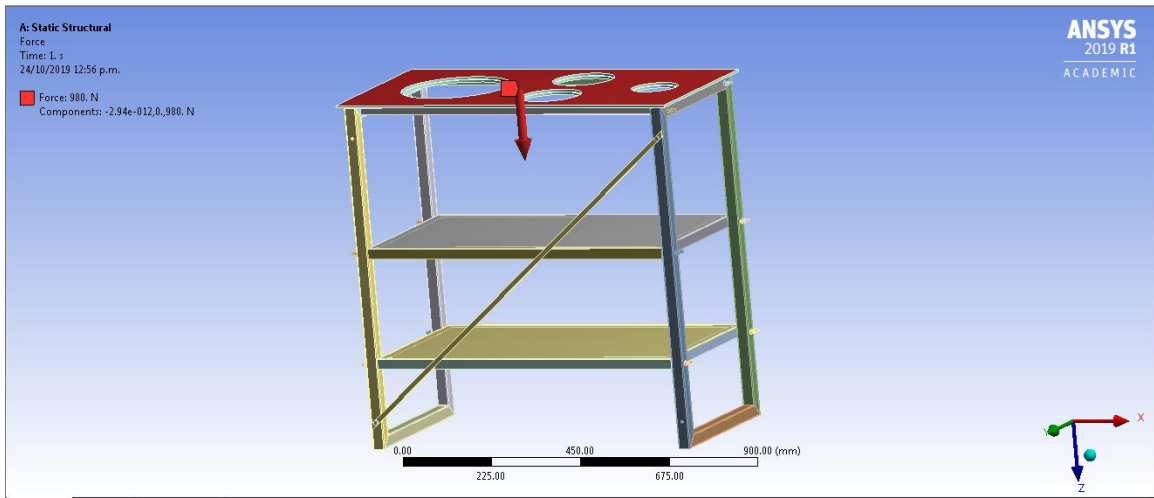
El análisis estructural que se aplicó en la estructura de la estufa se hizo en *AnsysWorkbench* donde se tomó diferentes condiciones de frontera.

Cuadro 29: Condiciones de frontera del análisis.

1.	Soportes	Se aplicó un soporte fijo en la parte inferior de los soportes de la estructura.
2.	Carga	Se aplicó una carga de 100kg distribuida en la parte superior de la plancha. Esta carga se estableció como un requerimiento de la comunidad.
3.	Contactos	Se utilizaron solo contactos bonded para las uniones de perfiles que presentaban una soldadura al igual que las partes roscadas de los tornillos y las tuercas. No separation para las uniones que se tenían con tornillos al igual que las que no presentaban ningún método de sujeción.
4.	Materiales	Se le asignó material a la estructura y a la plancha. La estructura se asignó como acero estructural y la plancha se asignó como hierro.

(Elaboración propia, 2019)

Figura 45: Carga aplicada a la estructura.

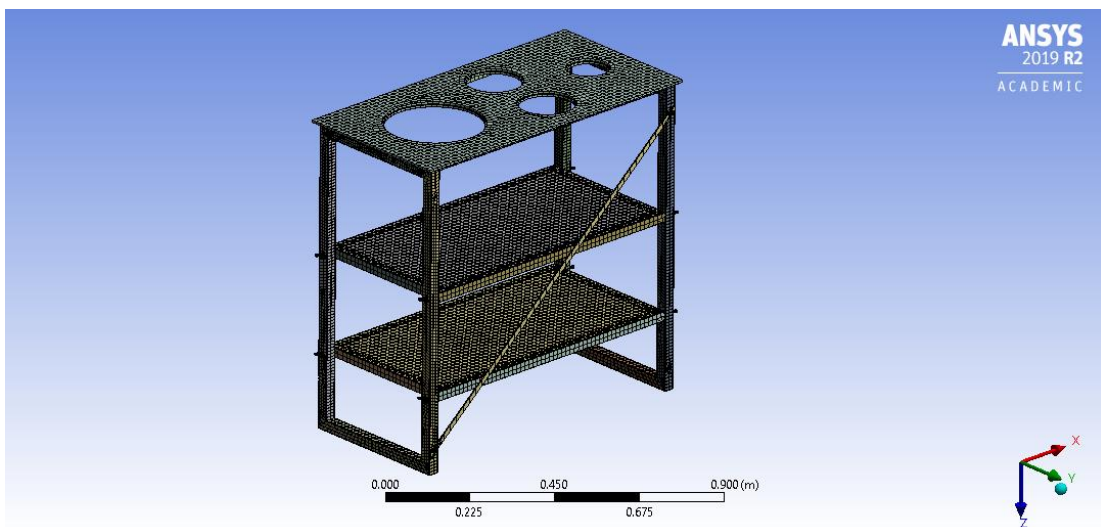


(Elaboración propia, 2019)

Mallado:

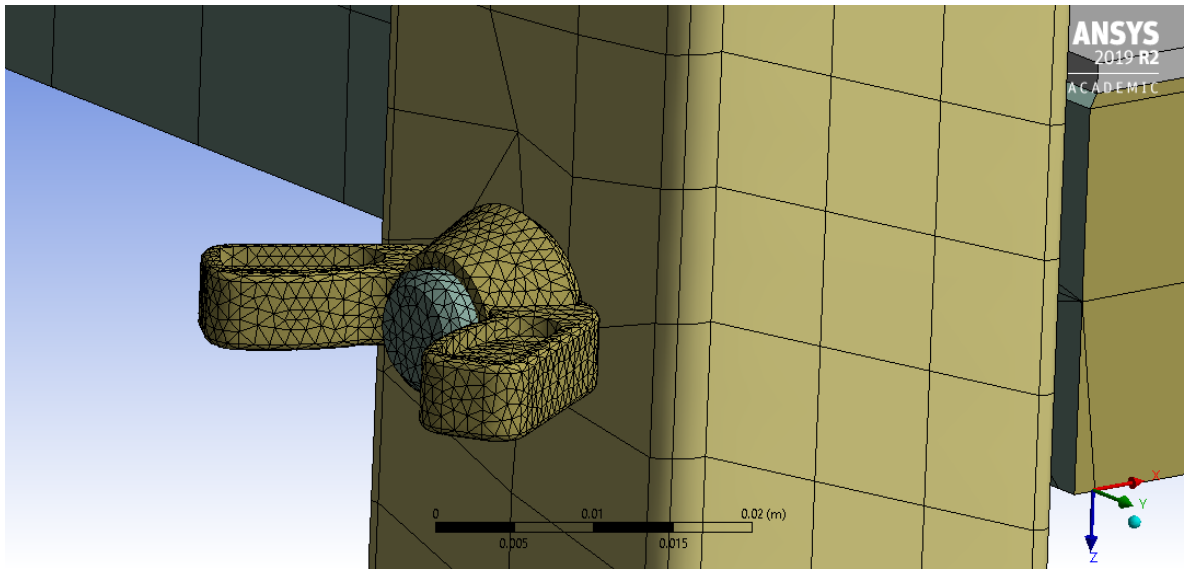
Se utilizaron métodos de mallado que cumplieran con los valores de los parámetros de ortogonalidad y sesgo que indican la calidad del mallado. En las gráficas de ortogonalidad y sesgo se puede ver que el mallado cumple con los valores de una buena manera.

Figura 46: Mallado de todo el sistema.



(Elaboración propia, 2019)

Figura 47: Mallado.



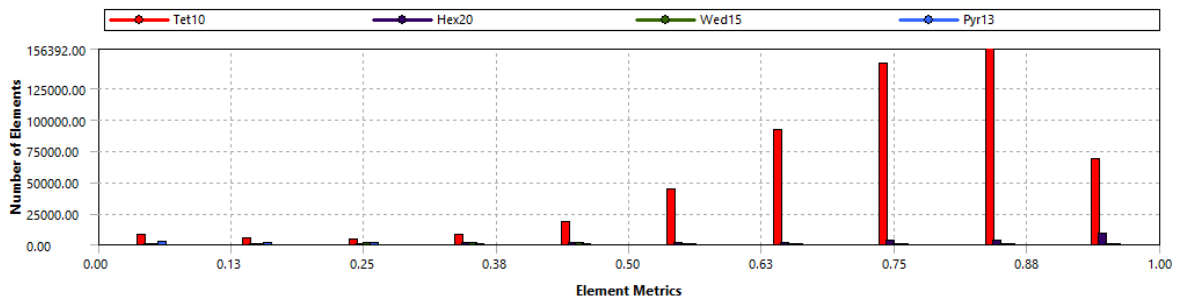
(Elaboración propia, 2019)

Figura 48: Valores de ortogonalidad.

Quality	
Check Mesh Qua...	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Orthogonal Quality
<input type="checkbox"/> Min	6.8502e-009
<input type="checkbox"/> Max	0.99998
<input type="checkbox"/> Average	0.73393
<input type="checkbox"/> Standard Devi...	0.17732

(Elaboración propia, 2019)

Figura 49: Gráfica de ortogonalidad.



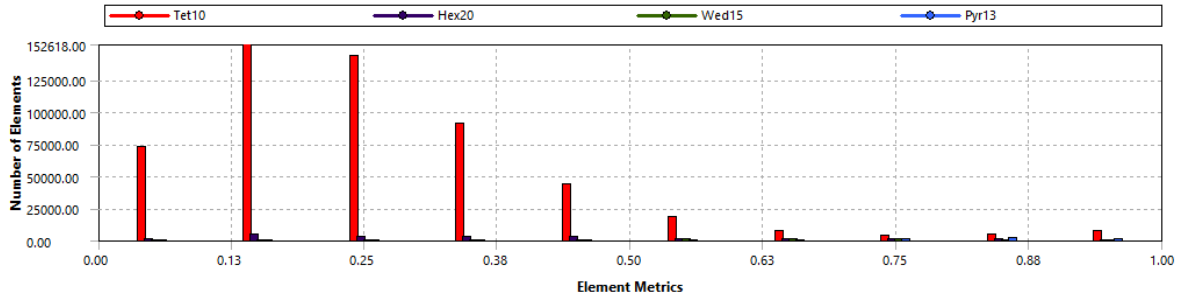
(Elaboración propia, 2019)

Figura 50: Valores de sesgo.

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Skewness ▼
<input type="checkbox"/> Min	3.0572e-004
<input type="checkbox"/> Max	1.
<input type="checkbox"/> Average	0.26895
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0.17901

(Elaboración propia, 2019)

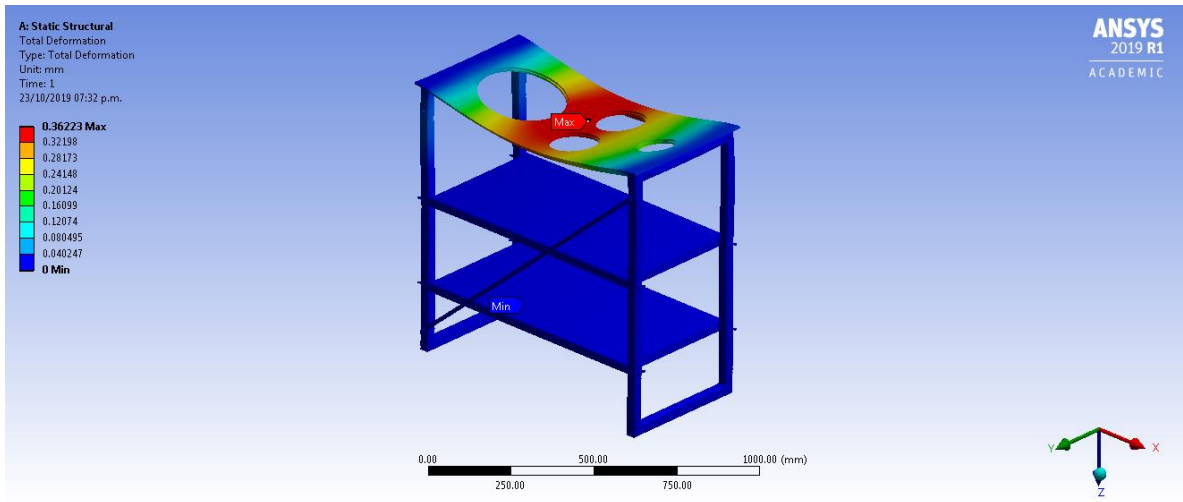
Figura 51: Gráfica de sesgo.



(Elaboración propia, 2019)

El número de nodos sobrepasaba el límite de la licencia de ANSYS con la que cuentan las computadoras entonces se tuvo que reducir el número de nodos. Luego se hizo un análisis de deformación direccional, deformación total, esfuerzo equivalente de von Mises y factor de seguridad.

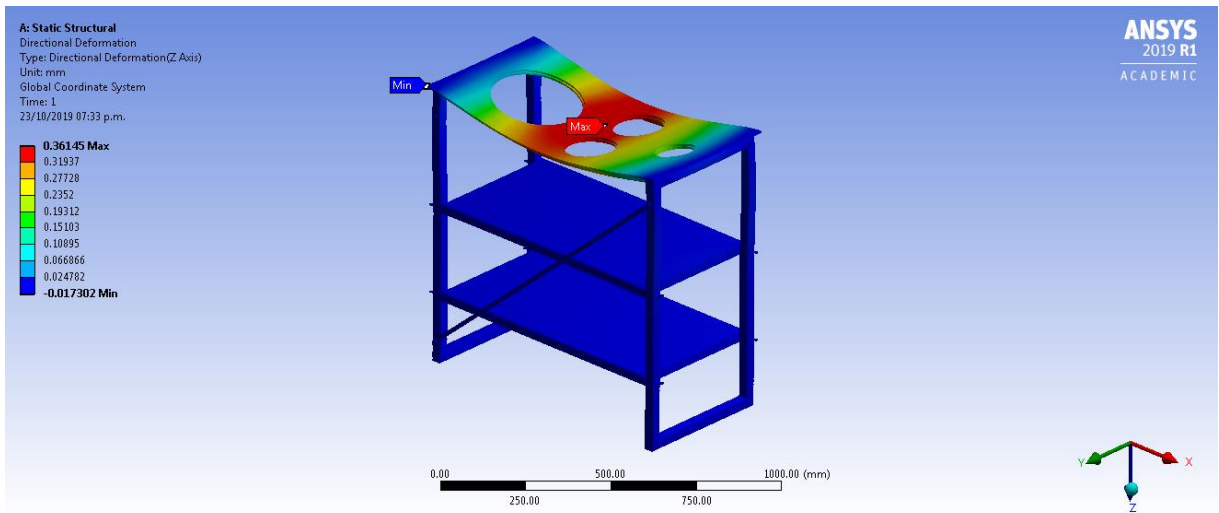
Figura 52: Deformación total.



(Elaboración propia, 2019)

Se obtuvo un valor máximo de deformación total de 0.36223mm lo que nos indica que la deformación sería poca.

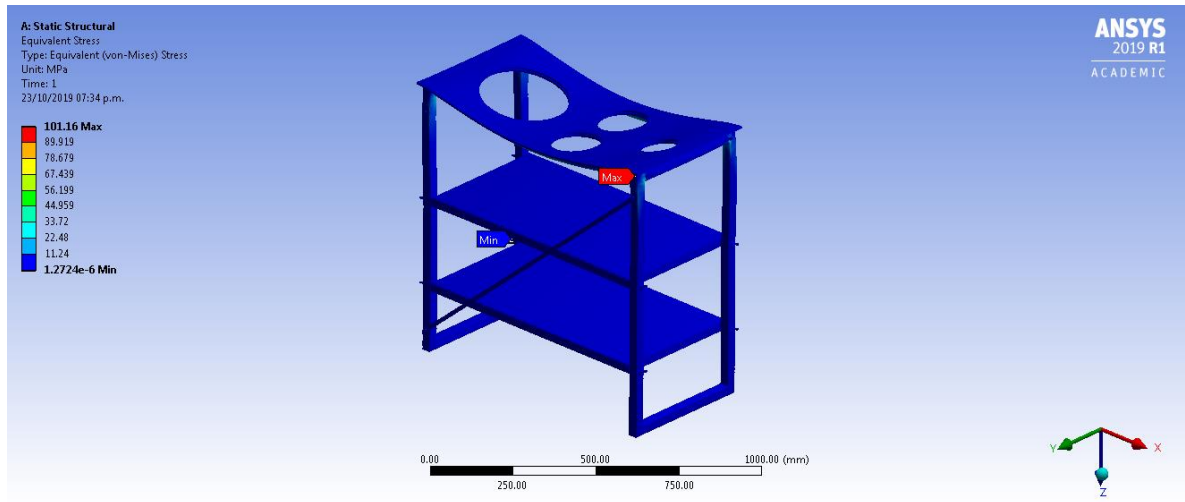
Figura 53: Deformación direccional.



(Elaboración propia, 2019)

El valor de la deformación direccional resultó en 0.36145mm lo que nos indica que no se tendrá mayor deformación para abajo (Deformación máxima permisible 4.77mm).

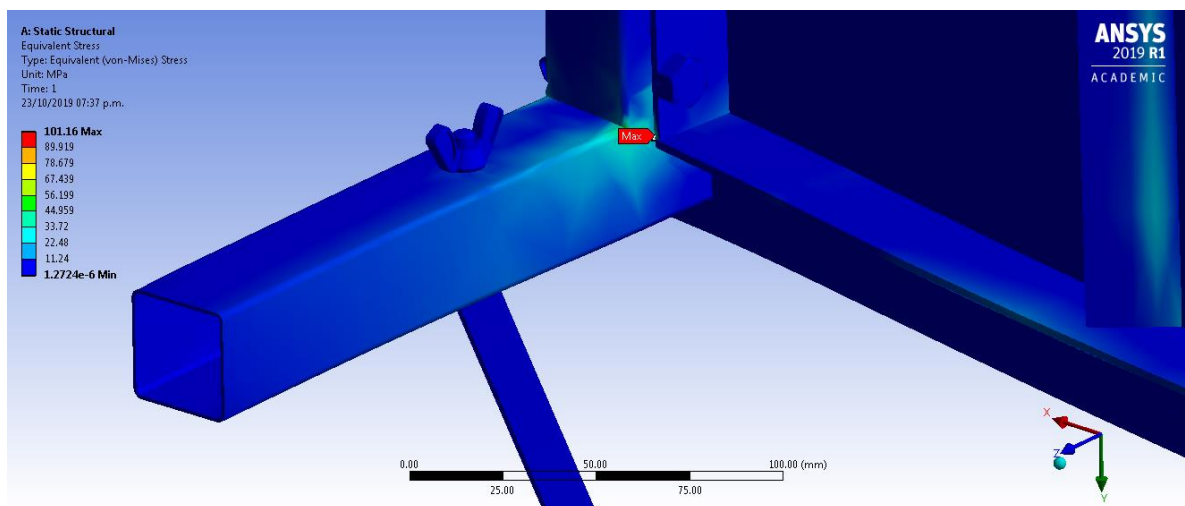
Figura 54: Esfuerzo equivalente.



(Elaboración propia, 2019)

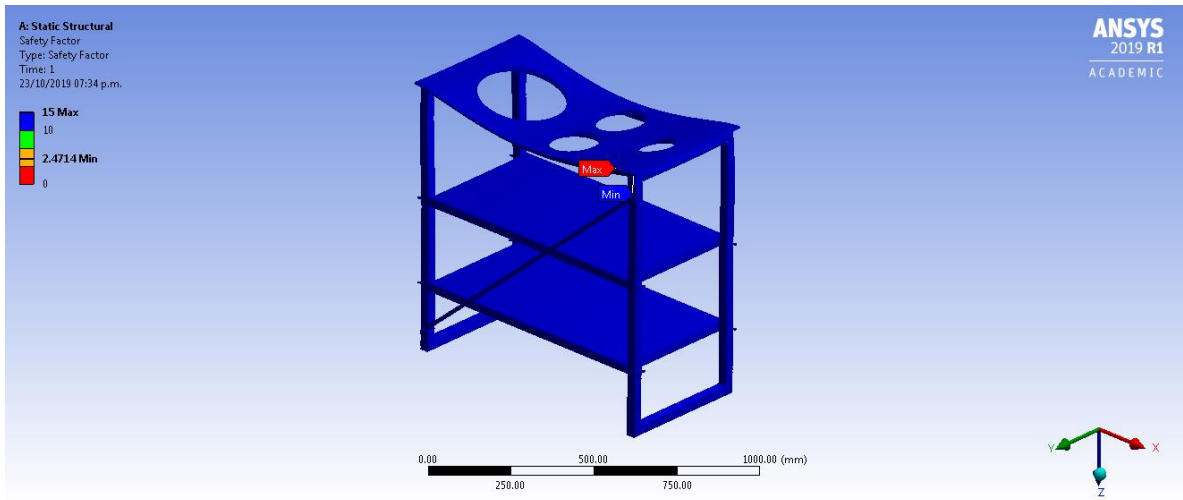
Se obtuvo un valor de 101.16 MPa de esfuerzo equivalente de von Mises. Este valor máximo se encuentra en la unión de uno de los perfiles rectangulares. En la Figura 51 se demuestra en donde se encuentra ubicado el valor máximo de esfuerzo equivalente. La razón por la que se encuentra en ese lugar es por la geometría del perfil y por el tipo de unión que es una unión soldada. Usualmente en ese tipo de uniones es donde se puede ver los esfuerzos más pertinentes.

Figura 55: Localización del esfuerzo equivalente von Mises.



(Elaboración propia, 2019)

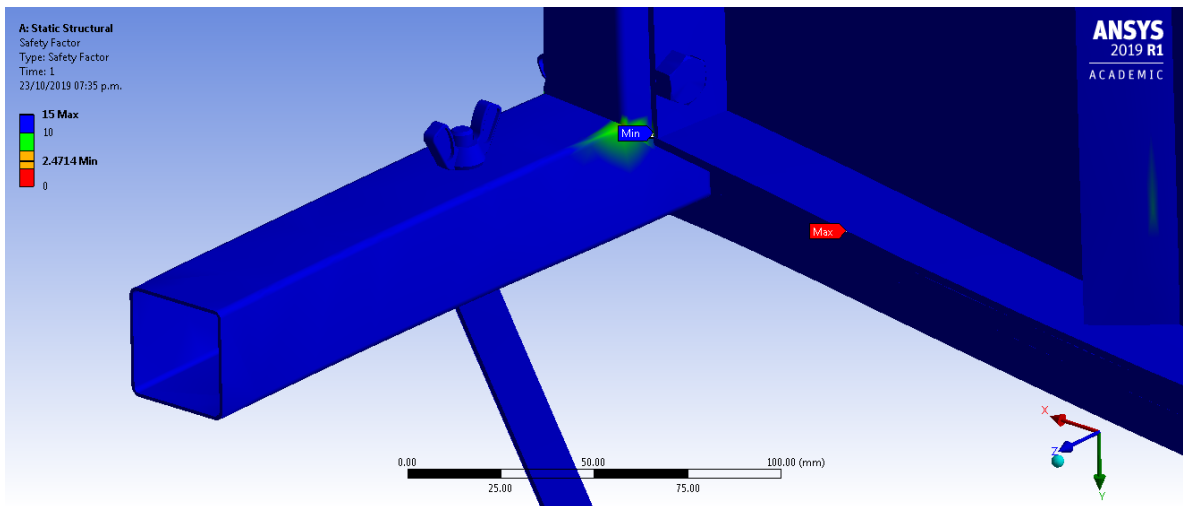
Figura 56: Factor de seguridad.



(Elaboración propia, 2019)

El valor mínimo del factor de seguridad es de 2.4714 lo que nos indica que para la carga que se le aplicaría la estructura debería de aguantar perfectamente (Esfuerzo máximo permisible a la fluencia 250MPa). Este valor del factor de seguridad se encuentra cercano a uno de los perfiles rectangulares. Esto se puede observar en la figura 53 y la razón por la cual es en ese punto es por el cambio de geometría que se tiene en esa pieza y por el tipo de unión que se tiene en el perfil. Si no fuera por esa razón debería de ser por el número limitado de nodos en esa región y porque no se toma en cuenta la masa que agrega la soldadura.

Figura 57: Localización del factor de seguridad.



(Elaboración propia, 2019)

5. Validación de la comunidad

Al hacer la presentación de la estufa a la comunidad se les pidió su retroalimentación y validación al respecto. Esta presentación del segundo prototipo fue más privada debido a que se iba a poner en funcionamiento la estufa. Esta reunión se llevó a cabo en la oficina que tiene Link 4 en el centro de Santa Catarina Palopó. Se invitó a tres mujeres a que fueran parte de la demostración y que pudieran interactuar con el modelo. Se empezó con un par de preguntas sobre la estructura y la configuración de la plancha.

Luego se procedió a poner en funcionamiento la estufa y se tuvo un diálogo sobre los aspectos diferentes y la funcionalidad de la estufa. Mientras se tenía una conversación con las señoras se procedió a darles un poco de masa de tortilla para que comprobaran que la estufa era capaz de cocinar tortillas con la consistencia adecuada. Era importante que esta reunión fuera un poco más privada para no crear expectativas altas en la comunidad y que luego no quisieran participar en futuros proyectos.

La gran mayoría opinó que la estufa es una gran idea y que resuelve algunos de los problemas que se tiene con las estufas actuales. Además de eso poner la estufa en funcionamiento y que los miembros de la comunidad logaran cocinar tortillas en la estufa también abrió un espacio en donde ellos validaron la consistencia de las tortillas. Esta validación resultó en que la estufa sí funciona y que tiene la capacidad de hacer tortillas a la consistencia deseada. Al final se logró hacer 5-8 tortillas en solo una hornilla que era la que se encontraba en funcionamiento. Al tener todos los gasificadores en funcionamiento se podría lograr hacer muchas más tortillas. Les agradó mucho la plancha actual y que se haya modificado la altura de toda la estructura. El entrepaño inferior también fue un aspecto estético que les gustó mucho ya que pueden colocar cosas debajo de la estufa cosa que no se puede con las estufas actuales.

Figura 58: Validación de la comunidad



(Elaboración propia, 2019)

Figura 59: Tortillas en la estufa.



(Elaboración propia, 2019)

Figura 60: Estufa en funcionamiento.



(Elaboración propia, 2019)

Cuadro 30: Validación segundo prototipo.

1.	Estructura	Tener una estructura más cerrada para evitar entrar en contacto con las llamas si en algún momento se llegara a acercarse mucho alguien.
2.	Plancha	Buscar un modelo de plancha donde esta sea un poco más delgada para que se caliente de mejor manera.
3.	Seguridad	El calor desechado hacia el ambiente presenta un riesgo de quemaduras especialmente en niños.
4.	Combustión	El tiempo de encendido es algo tardado y se necesita un acelerante de la para lograr la combustión.
5.	Funcionamiento	Buen funcionamiento ya que logra hacer tortillas con la consistencia adecuada.
6.	Calor	Se siente mucho el calor que deshecha la estufa hacia el ambiente.

(Elaboración propia, 2019)

Cuadro 31: Listado de partes y precio.

Cantidad	Pieza	Precio
1	Tubo estructural cuadrado chapa-14 1x1 de 6 metros	Q75.00-
1	Perfil angular 1X1/8 de 6 metros	Q69.00-
2	Lámina de hierro negro 1/16 de 2X1 metros	Q580.00-
1	Plancha de estufa de hierro 1/4	Q325.00-
12	Tornillos hexagonales 5/16X 1 1/2	Q24.00-
12	Tuercas mariposa 5/16	Q12.00-
2	Tornillo 1/4	Q2.00-
2	Tuercas Cap 1/4	Q1.90-
2	Juegos de Ollas de 24, 20, 18, 16 cuartos	Q650.00-
1	Juego de ollas 12, 10, 8 cuartos	Q125.00-
1	Hierro plano 1/8 X ¼ de 6 metros	Q43.00-
1	Galón de pintura	Q140.00-
1	Mano de obra	Q1,000.00-
1	Total	Q3,046.00-

(Elaboración propia, 2019)

VII.CONCLUSIONES

1. Los requerimientos para la estufa con gasificadores, definidos mediante la primera visita a Santa Catarina Palopó, son: que sea capaz de armarse y desarmarse (modularidad), capaz de entrar con facilidad a los domicilios y no tener un tamaño superior a las estufas convencionales (tamaño) y que configuración de plancha tuviera una hornilla grande y dos pequeñas.
2. Se elaboró un primer prototipo con las características de ser desarmable, más esbelto en comparación a las estufas actuales e incorporando gasificadores a la plancha.
3. Se diseñaron los primeros prototipos de los gasificadores utilizando de referencia modelos comerciales. Estos presentaban una potencia pobre debido a que no eran capaces de cocinar tortillas por lo que se rediseñaron a un prototipo que presentaba una eficiencia energética de 15% a 23%.
4. Se presentó el primer prototipo y la retroalimentación de la comunidad estuvo orientada a la altura de donde se colocaba la plancha (reducir altura), al color de la estufa (aspecto estético) y eliminar el entrepaño plegable a uno de los lados de la estufa (estabilidad estructural).
5. Según la retroalimentación se redefinieron los requerimientos. Los requerimientos redefinidos eran reducir 11.5cm de altura, utilizar un color que representará más a la comunidad (color celeste), modificación de estructura para aumento de rigidez (eliminar la mesa plegable y agregar una barra en diagonal para más rigidez), agregar un entrepaño y rediseñar los gasificadores para poder cocinar tortillas.
6. La estructura de la estufa tiene la capacidad de soportar los 100kg establecidos por la comunidad. El análisis estructural de la estufa determinó que el factor de seguridad era de 2.47 según el esfuerzo permisible a fluencia del material (250MPa) lo que indica que si soporta.
7. La temperatura deseada para cocinar tortillas está entre 150°C y 220°C en un radio de 30cm o mayor que se encuentre en contacto con una plancha de espesor de $\frac{1}{4}$ ", con el fin de obtener un tiempo de cocción promedio.
8. Las pruebas de emisiones demuestran una reducción en comparación a las pruebas de estufas con fuego abierto. El gasificador grande obtuvo una reducción de 234.81 ppm de CO (85%) y 607.82 ppm de CO₂ (44%). El gasificador pequeño obtuvo una reducción de 164.95 ppm de CO (60%) y 260.03 ppm de CO₂ (19%).

VIII.RECOMENDACIONES

1. Incluir más seguridad para la estufa ya que al no tener cerrados los lados de la estufa se deshecha mucho calor hacia el ambiente y los bordes metálicos de la estufa se calientan bastante. Se podría incluir material cerámico en los bordes para evitar quemaduras.
2. Incluir altura variable para la estructura para que se pueda adaptar a los distintos tipos de altura de las personas. Eso brindaría más comodidad para el usuario a la hora de cocinar ya que se podría adaptar a la altura del usuario.
3. Tener distintos colores disponibles para adaptarse a los gustos del usuario y que el usuario pudiera escoger el color que quisiera.
4. Elaborar más pruebas de material particulado hasta obtener una muestra significativa con valores representativos que permitan una comparación válida.
5. Tratar de incluir una chimenea para aprovechar el calor de los gases para calentar un poco más la plancha y para estar seguros de que los gases si logran evacuar el domicilio.
6. Introducir un sistema donde la altura en la que se colocan los gasificadores en la estructura se pueda variar para que se pueda tener una llama que pegue con mayor intensidad en la plancha.
7. Elaborar una tasa medidora que indique el tiempo de quemado que tendrán los gasificadores con la cantidad de combustible que se les está supliendo.
8. Determinar una manera de reducir costos y presentar la estufa de manera más económicamente atractiva.

IX.REFERENCIAS

1. Clean Cooking Catalog. <http://catalog.cleancookstoves.org/stoves> [4/07/19]
2. Global Alliance For Clean Cookstoves. *Handbook for Biomass Cookstove Research, Design, and Development*. <https://d-lab.mit.edu/sites/default/files/inline-files/biomass-cookstove-r-d-handbook-screen.pdf> [4/07/19]
3. Ewings, Steve. *Construction of a 3 Billy Stove Gasifier: The Australian TLUD*. <https://www.build-a-gasifier.com/PDF/3%20Billy%20Stove%20Gasifier%20V1.0.pdf> [11/06/19]
4. EPA. *Particulate Matter (PM) Pollution*. <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics> [07/07/19]
5. EPA. *Greenhouse Gas Emissions*. <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases> [07/07/19]
6. Roth, Alec. *Pyrolysis*. <https://www.studentenergy.org/topics/pyrolysis> [20/07/19]
7. CDC. *Carbon Monoxide Poisoning*. <https://www.cdc.gov/co/faqs.htm>. [15/05/19]
8. Instituto Nacional de Estadística. *Caracterización Departamental Sololá 2012*. <http://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2013/12/09/LrQm6TxEtYd25S0Ma1QG9aSu94hxdIQ.pdf>. [12/07/19]
9. Global Alliance For Clean Cookstoves. *Biomass Safety Protocol Guidelines*. <file:///C:/Users/27949/Downloads/bssp-1-1-protocol-english.pdf>. [14/10/19]
10. Global Alliance For Clean Cookstoves. *The Water Boiling Test*. <https://www.cleancookingalliance.org/binary-data/DOCUMENT/file/000/000/399-1.pdf>. [02/10/19]
11. Rivera, Mauricio. *Evaluación de eficiencia energética y emisiones intradomiciliarias de monóxido de carbono, material particulado 2.5 de las principales estufas ahorradoras de leña fabricadas y distribuidas en Guatemala*. <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/resumenes2017/inf1747.html>. [14/10/19]
12. Pellet Fuel Institute. *What are pellets?* <https://www.pelletheat.org/what-are-pellets->. [24/10/19]

X.ANEXOS

A. Iteraciones en el diseño de gasificadores:

Figura 61: Iteración gasificador.



(Elaboración propia, 2019)

Figura 62: Iteración gasificador 2.



(Elaboración propia, 2019)

Figura 63: Iteración gasificador 3.



(Elaboración propia, 2019)

Figura 64: Iteración gasificador 4.



(Elaboración propia, 2019)

Figura 65: Iteración gasificador 5.



(Elaboración propia, 2019)

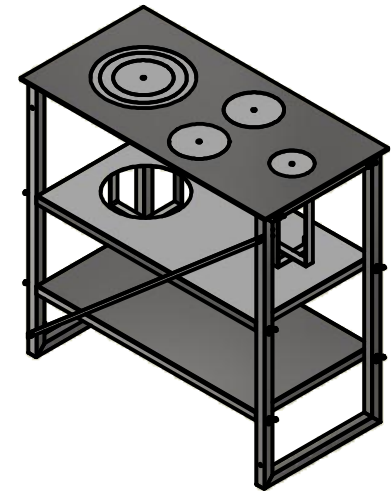
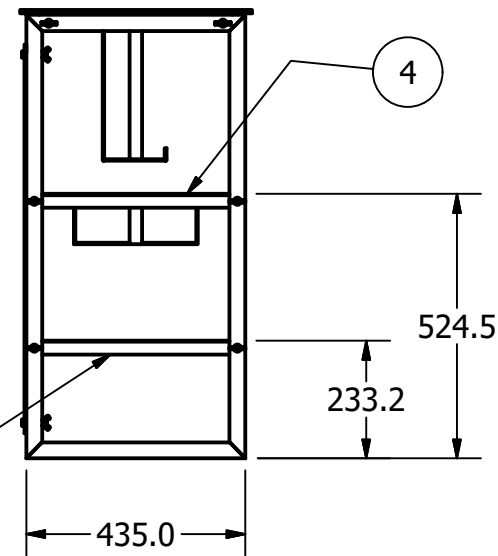
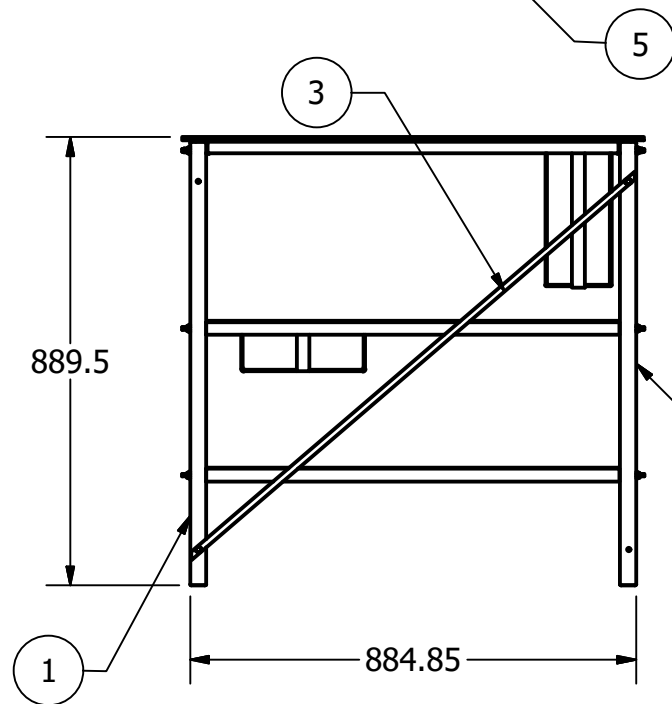
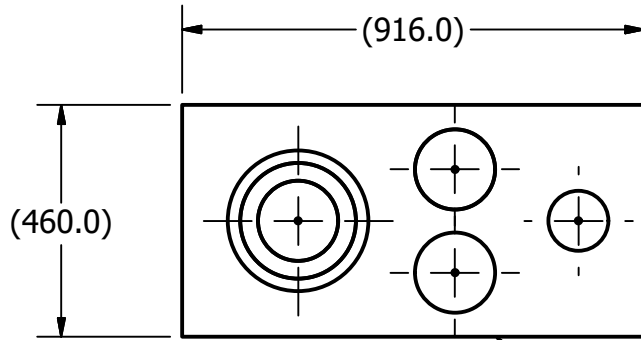
B. Planos:

2

1

LISTADO DE PARTES

ELEMENTO	CANTIDAD	NOMBRE DE PARTE	MATERIAL
1	2	SOPORTE LATERAL	ACERO 1018
2	1	ENTREPAÑO SUPERIOR	ACERO 1018
3	1	BARRA LATERAL	ACERO 1018
4	1	ENTREPAÑO INFERIOR	ACERO 1018
5	1	PLANCHA	HIERRO FUNDIDO



A

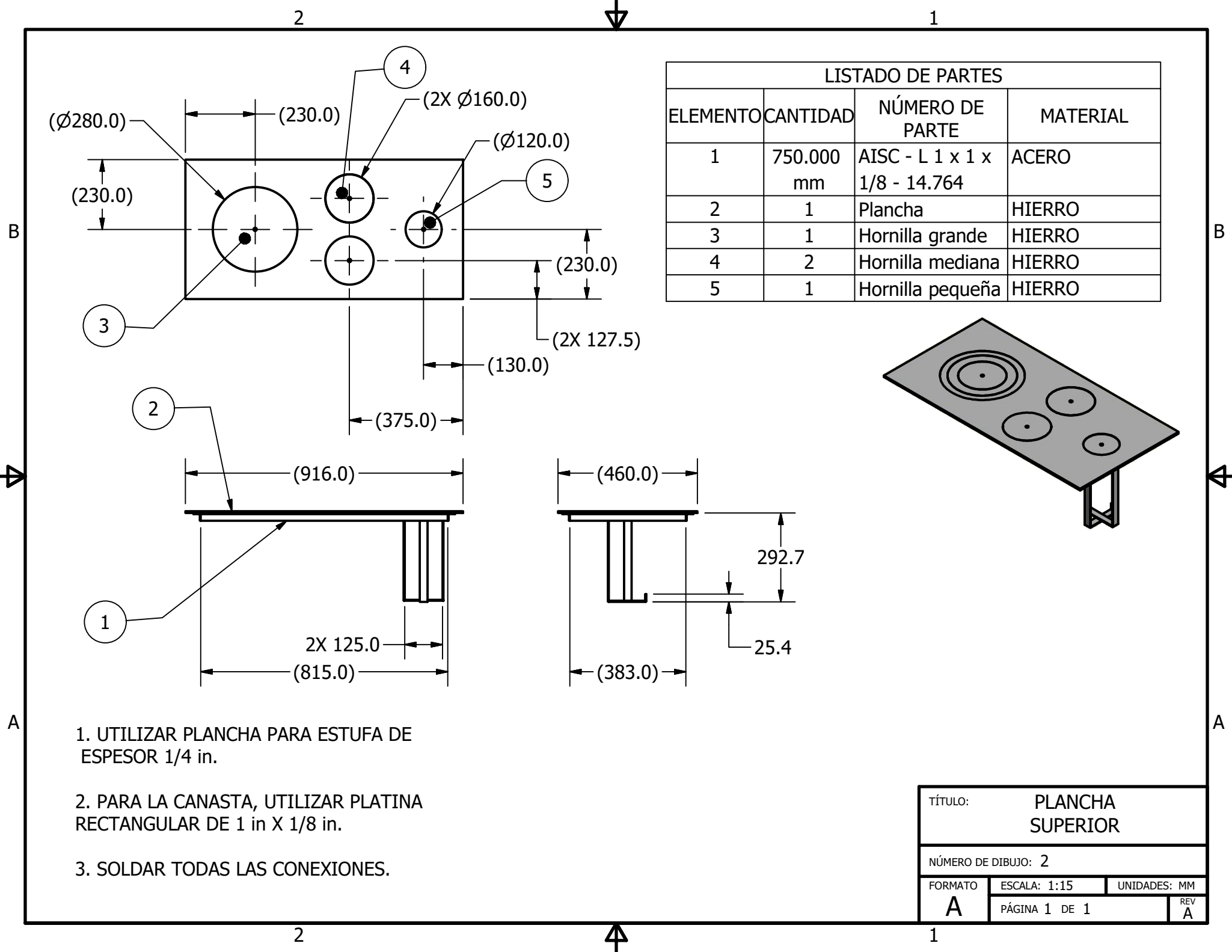
A

TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.	DIBUJADO POR M. VIELMAN	FECHA 17/09/2019	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
	DISEÑADO POR M. VIELMAN	FECHA 17/09/2019	
	REVISADO POR A. VIAU	FECHA 24/10/2019	
	APROBADO POR A. VIAU	FECHA 24/10/2019	
TOLERANCIAS GENERALES LINEAL .X ± .XX ± .XXX ± ANGULAR ± FRACCIONES ± RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓	NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO		TÍTULO: ESTRUCTURA DE ESTUFA
MATERIAL ACERO 1018 TRATAMIENTO N/A MASA:	TERCER ÁNGULO DE PROYECCIÓN		NÚMERO DE DIBUJO: 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.			FORMATO A
			ESCALA: 1:15
			UNIDADES: mm
			PÁGINA 1 DE 1
			REV A

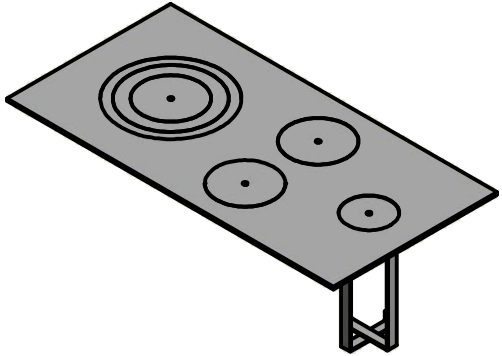
2

1

A

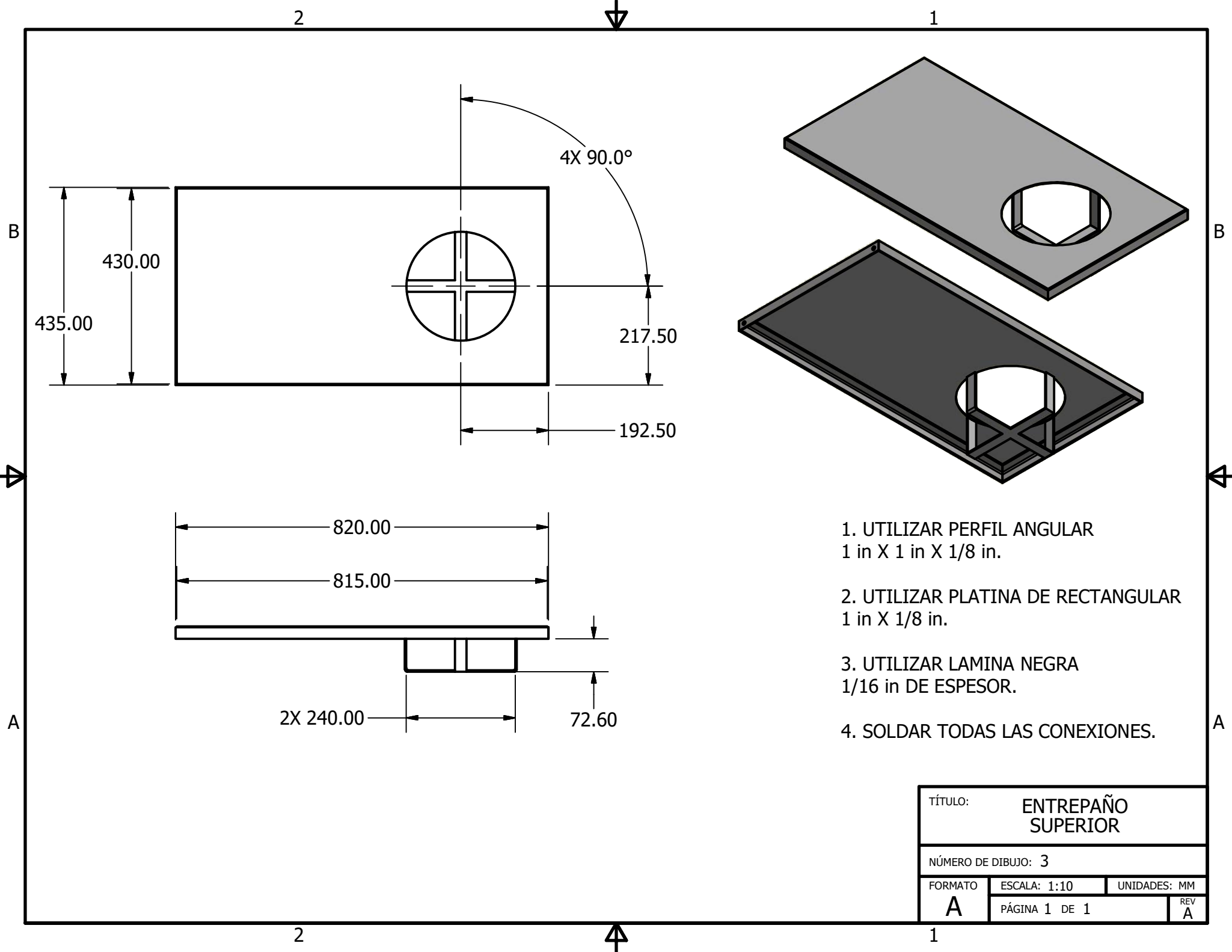


LISTADO DE PARTES			
ELEMENTO	CANTIDAD	NÚMERO DE PARTE	MATERIAL
1	750.000 mm	AISC - L 1 x 1 x 1/8 - 14.764	ACERO
2	1	Plancha	HIERRO
3	1	Hornilla grande	HIERRO
4	2	Hornilla mediana	HIERRO
5	1	Hornilla pequeña	HIERRO



1. UTILIZAR PLANCHA PARA ESTUFA DE ESPESOR 1/4 in.
2. PARA LA CANASTA, UTILIZAR PLATINA RECTANGULAR DE 1 in X 1/8 in.
3. SOLDAR TODAS LAS CONEXIONES.

TÍTULO: PLANCHA SUPERIOR		
NÚMERO DE DIBUJO: 2		
FORMATO	ESCALA: 1:15	UNIDADES: MM
A	PÁGINA 1 DE 1	REV A

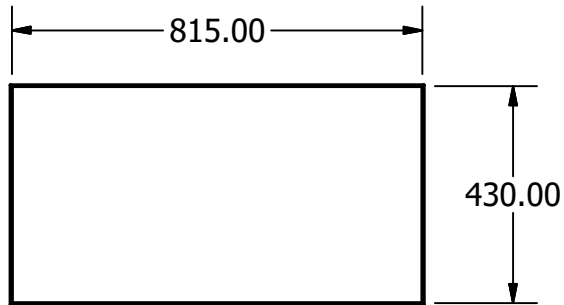


1. UTILIZAR PERFIL ANGULAR
1 in X 1 in X 1/8 in.
2. UTILIZAR PLATINA DE RECTANGULAR
1 in X 1/8 in.
3. UTILIZAR LAMINA NEGRA
1/16 in DE ESPESOR.
4. SOLDAR TODAS LAS CONEXIONES.

TÍTULO:			ENTREPAÑO SUPERIOR		
NÚMERO DE DIBUJO: 3					
FORMATO	ESCALA: 1:10	UNIDADES: MM			
A	PÁGINA 1 DE 1			REV	A

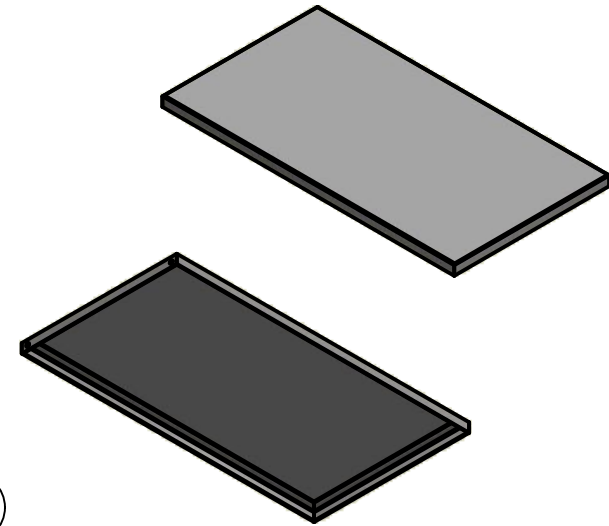
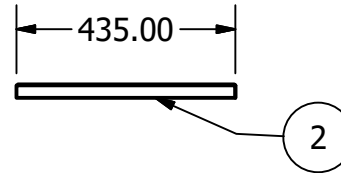
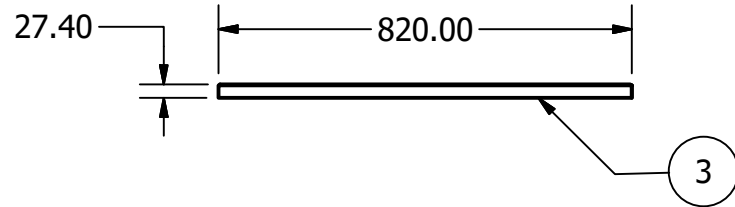
2

1



LISTADO DE PARTES			
ELEMENTO	CANTIDAD	NÚMERO DE PARTE	MATERIAL
2	870.000 mm	AISC - L 1 x 1 x 1/8 - 17.126	ACERO
3	1640.000 mm	AISC - L 1 x 1 x 1/8 - 32.283	ACERO
4	1	LÁMINA	ACERO

4



1. PARA LA BASE, UTILIZAR PERFIL ANGULAR DE 1 in X 1 in X 1/8 in.

2. PARA LA PLANCHA, UTILIZAR LAMINA NEGRA DE ESPESOR 1/16 in.

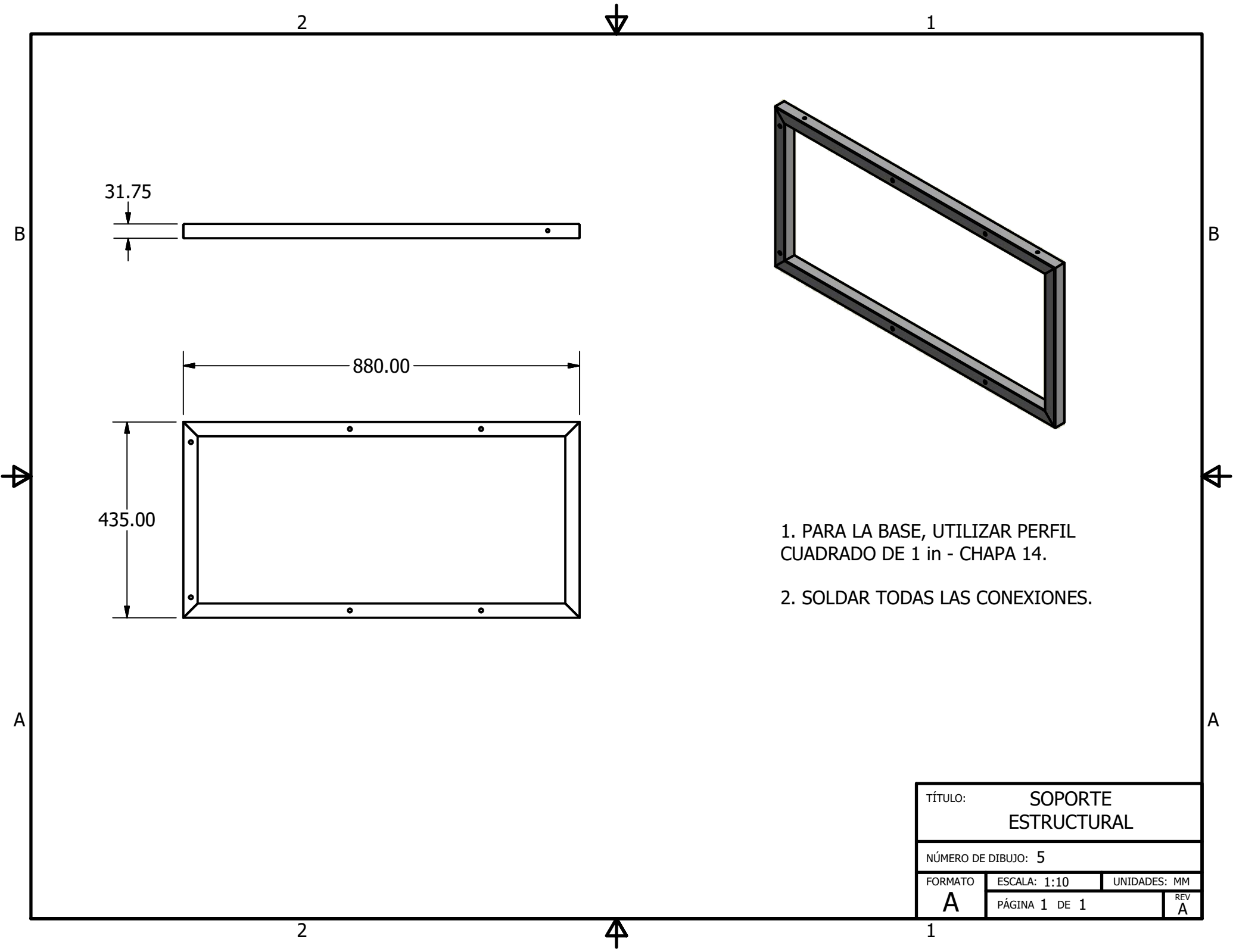
3. SOLDAR TODAS LAS CONEXIONES.

TÍTULO:			ENTREPAÑO INFERIOR
NÚMERO DE DIBUJO: 4			
FORMATO	ESCALA: 1:15	UNIDADES: MM	
A	PÁGINA 1 DE 1	REV A	

2

1

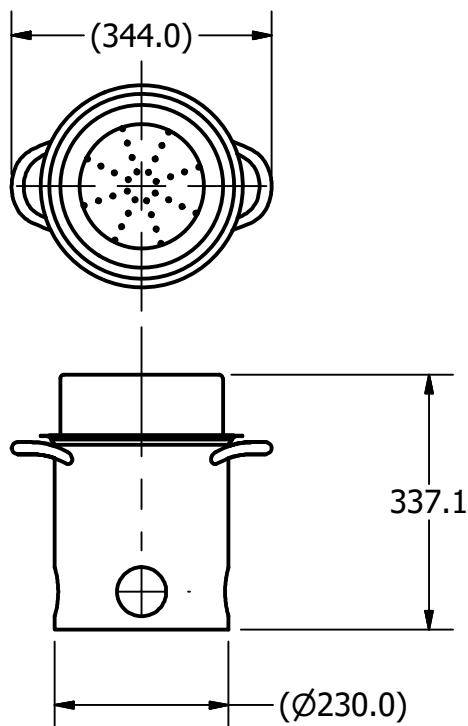
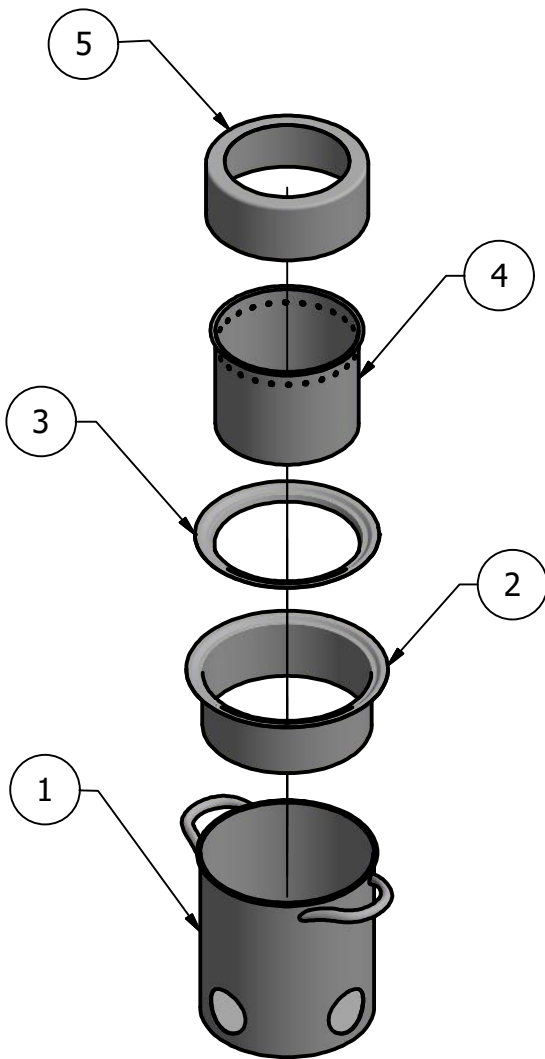




1. PARA LA BASE, UTILIZAR PERFIL CUADRADO DE 1 in - CHAPA 14.
2. SOLDAR TODAS LAS CONEXIONES.

TÍTULO:			SOPORTE ESTRUCTURAL		
NÚMERO DE DIBUJO: 5					
FORMATO	ESCALA: 1:10	UNIDADES: MM			
A	PÁGINA 1 DE 1			REV	A

LISTADO DE PARTES			
ELEMENTO	CANTIDAD	NOMBRE DE PARTE	MATERIAL
1	1	CILINDRO EXTERIOR	ACERO INOX.
2	1	CAMISA	ACERO INOX.
3	1	TAPADERA MEDIA	ACERO INOX.
4	1	CILINDRO INTERIOR	ACERO INOX.
5	1	CONCENTRADOR DE LLAMA	ACERO INOX.



TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009. TOLERANCIAS GENERALES LINEAL .X ± .XX ± .XXX ± ANGULAR ± FRACCIONES ± RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓	DIBUJADO POR M. VIELMAN	FECHA 15/09/2019	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
	DISEÑADO POR M. VIELMAN	FECHA 15/09/2019	
	REVISADO POR A. VIAU	FECHA 24/10/2019	
	APROBADO POR A. VIAU	FECHA 24/10/2019	
MATERIAL ACERO INOX. TRATAMIENTO N/A MASA: N/A	TERCER ÁNGULO DE PROYECCIÓN	NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO ESTUFA	TÍTULO: GASIFICADOR GRANDE
		NÚMERO DE DIBUJO: 6	FORMATO A
		ESCALA: 1 / 10	UNIDADES: mm
		PÁGINA 1 DE 1	REV A

B

A

B

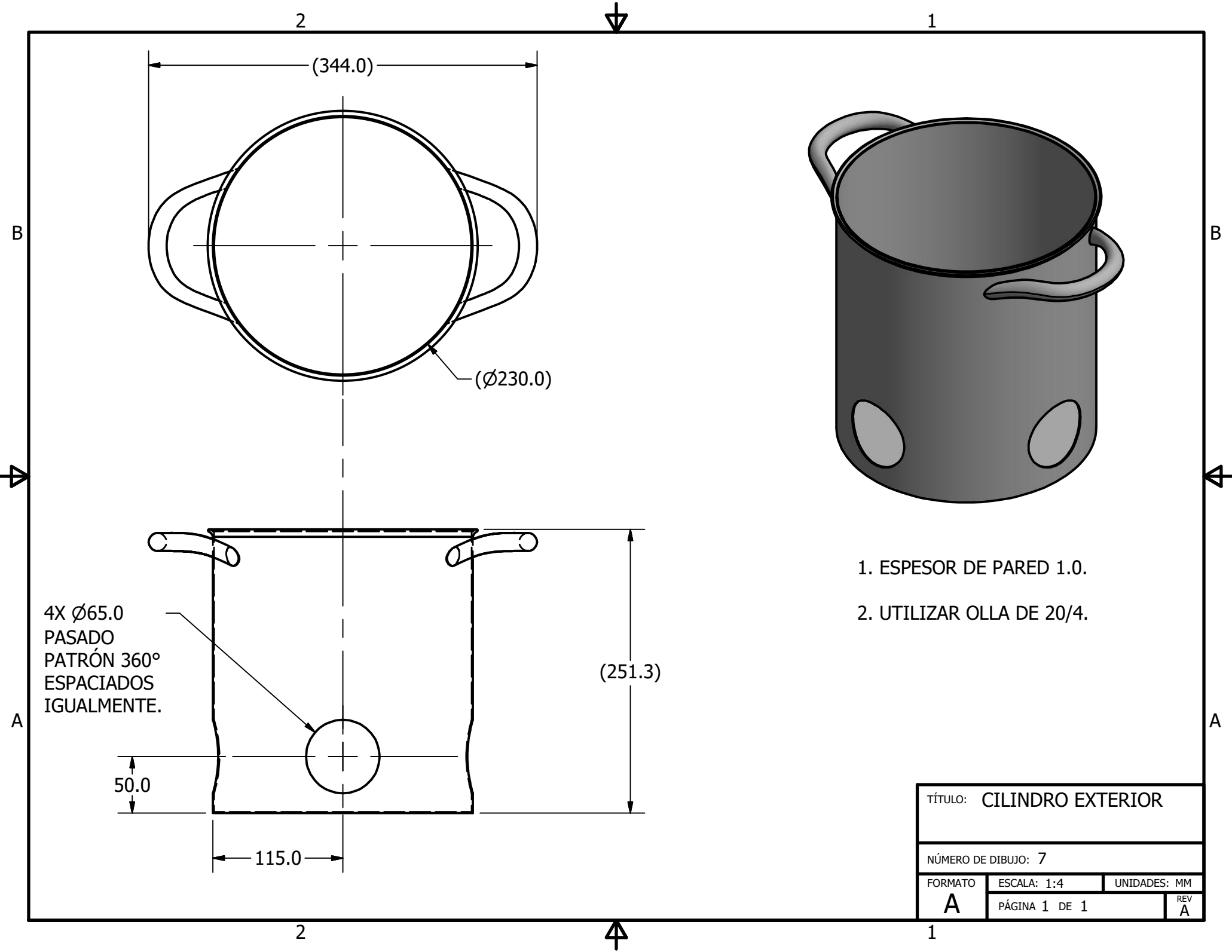
A

2

1

2

1

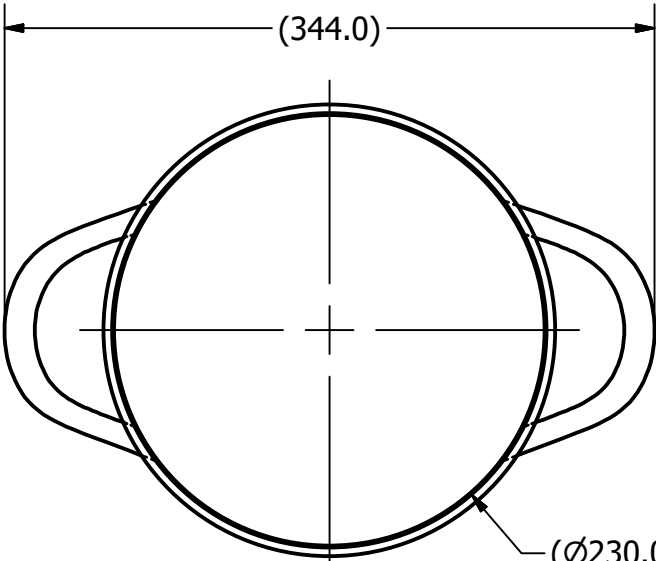


2

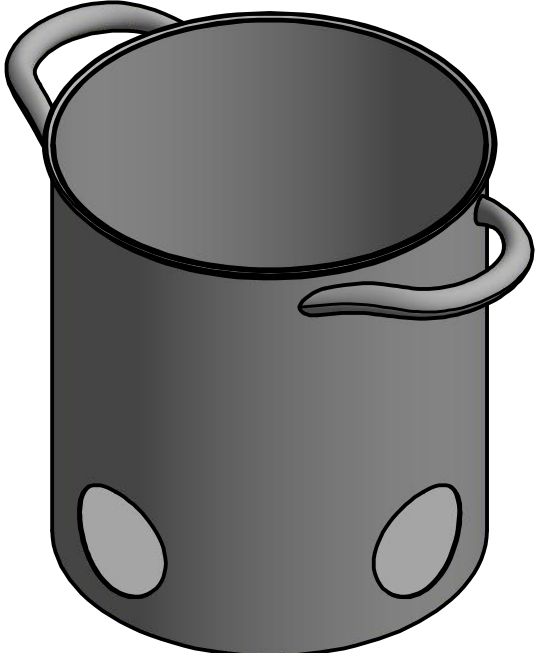


1

(344.0)



(Ø230.0)



1. ESPESOR DE PARED 1.0.

2. UTILIZAR OLLA DE 20/4.

4X Ø65.0
PASADO
PATRÓN 360°
ESPACIADOS
IGUALMENTE.

(251.3)

50.0

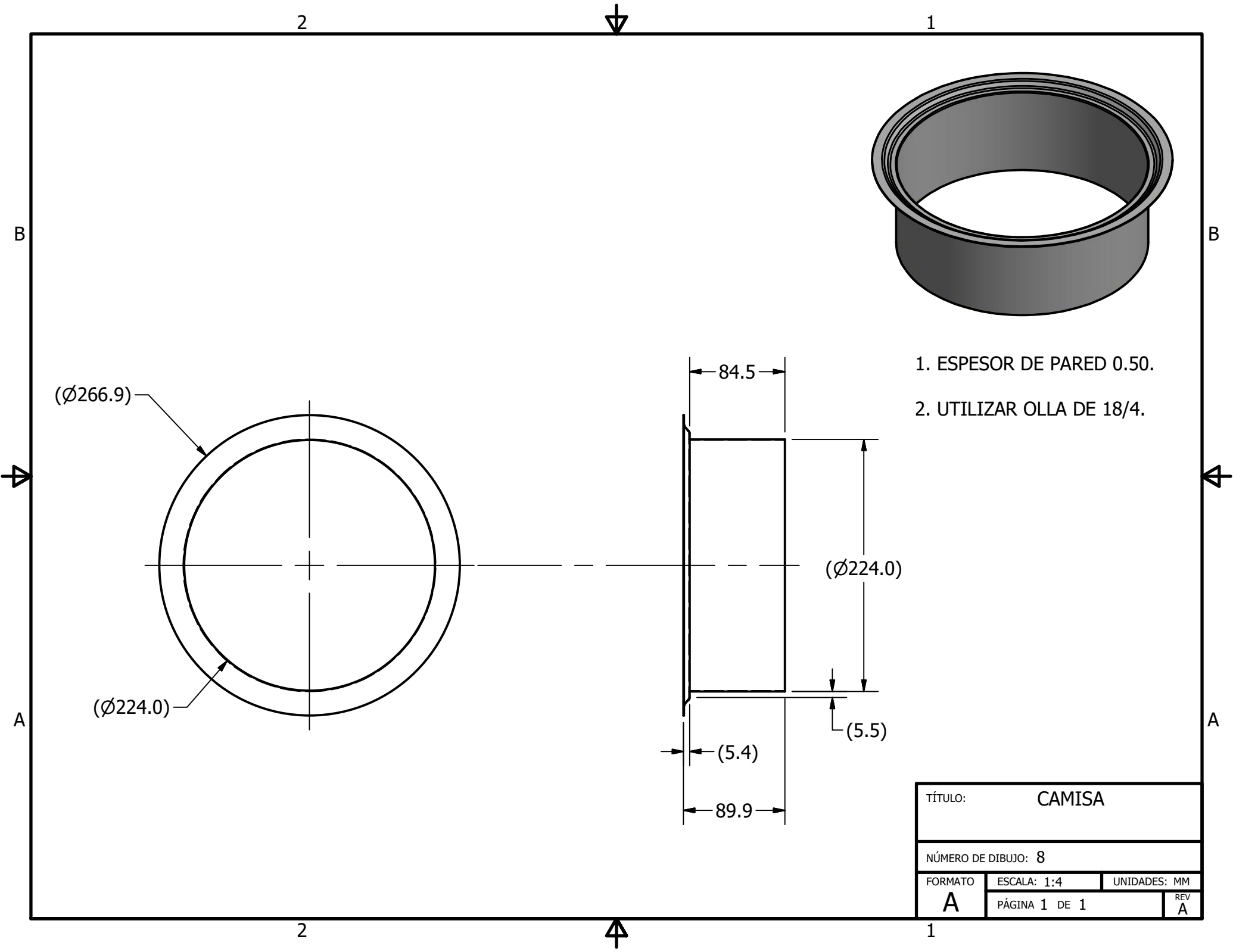
115.0

TÍTULO: CILINDRO EXTERIOR		
NÚMERO DE DIBUJO: 7		
FORMATO	ESCALA: 1:4	UNIDADES: MM
A	PÁGINA 1 DE 1	REV A

2

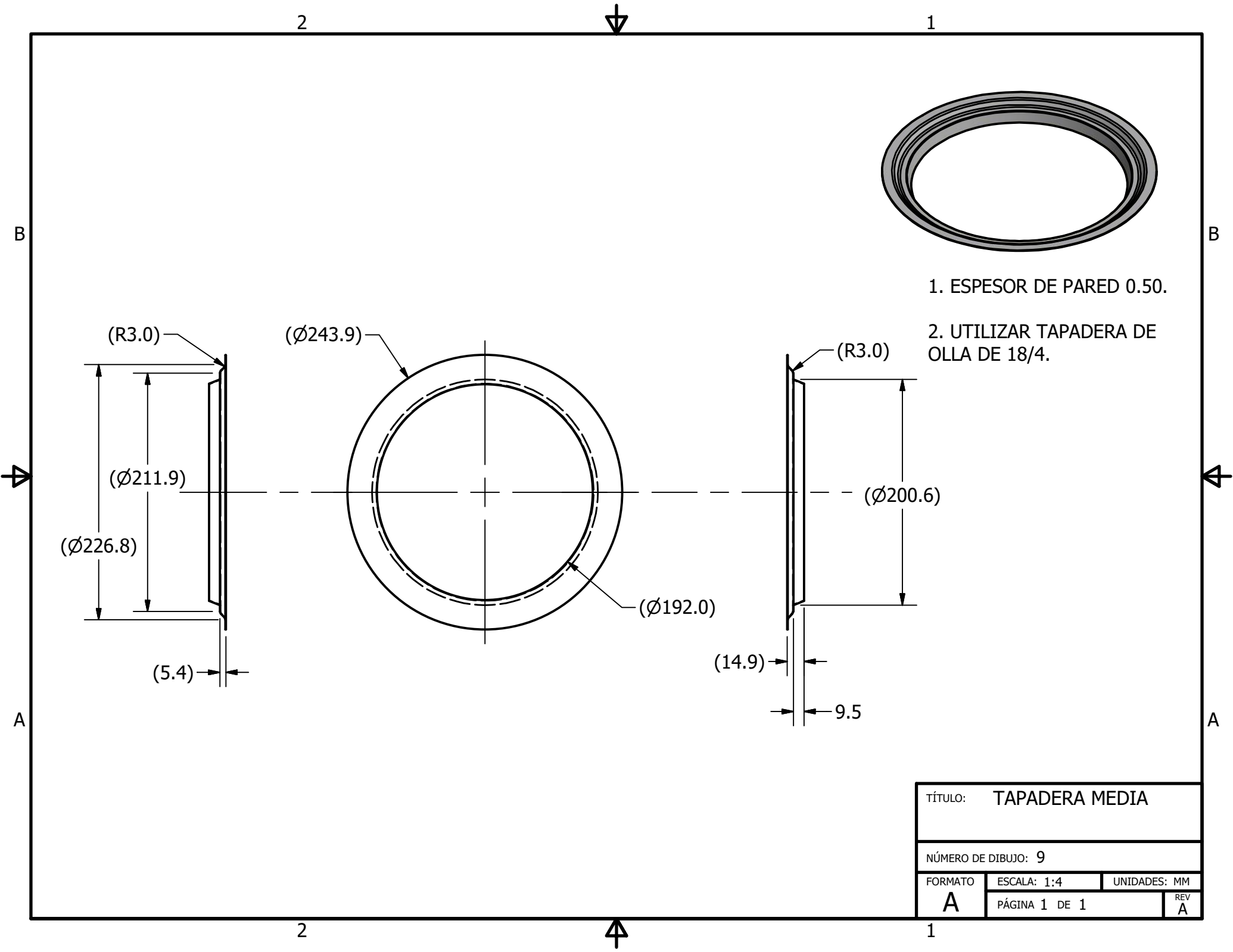


1



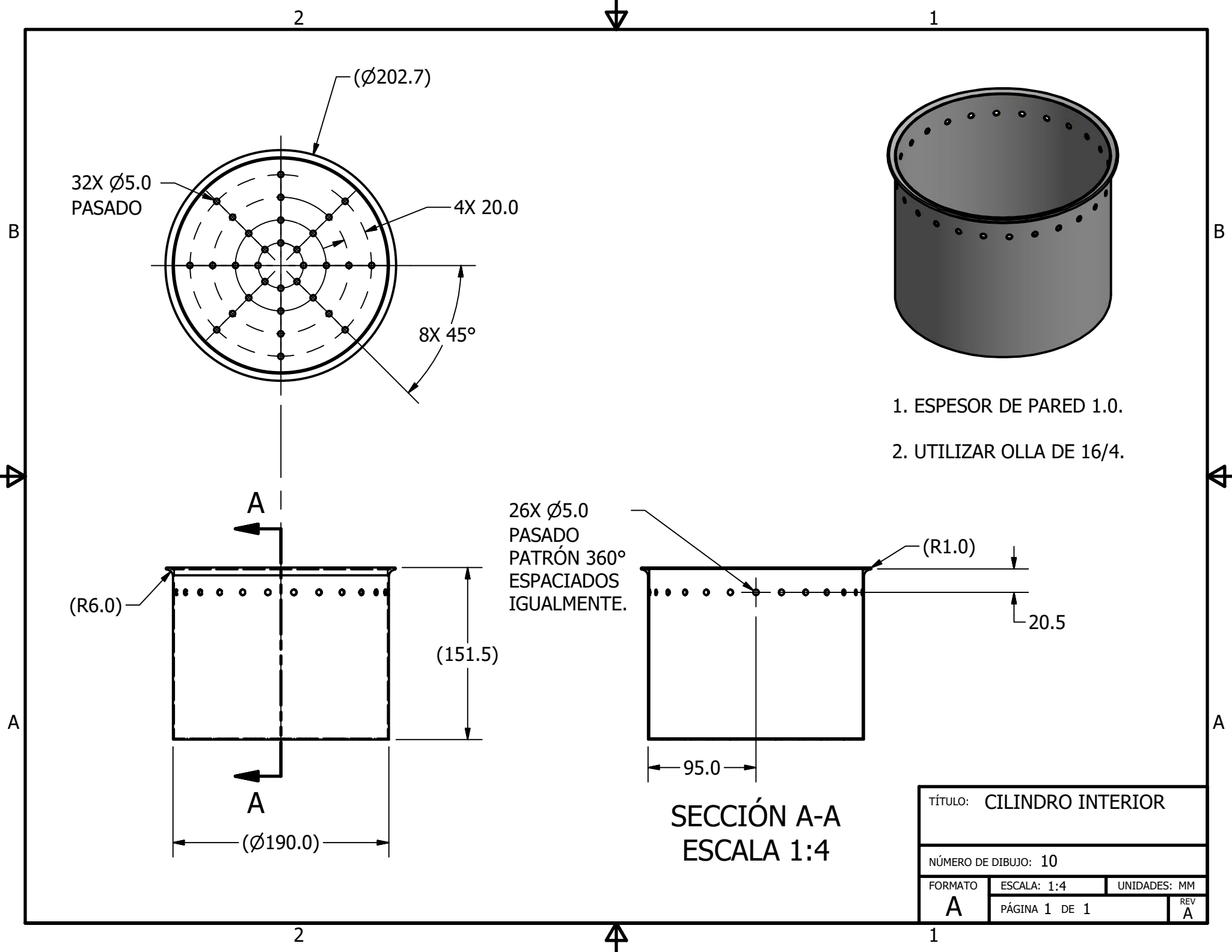
1. ESPESOR DE PARED 0.50.
2. UTILIZAR OLLA DE 18/4.

TÍTULO:		CAMISA	
NÚMERO DE DIBUJO: 8			
FORMATO	ESCALA: 1:4	UNIDADES: MM	REV
A	PÁGINA 1 DE 1		A



- 1. ESPESOR DE PARED 0.50.
- 2. UTILIZAR TAPADERA DE OLLA DE 18/4.

TÍTULO: TAPADERA MEDIA			
NÚMERO DE DIBUJO: 9			
FORMATO	ESCALA: 1:4	UNIDADES: MM	
A	PÁGINA 1 DE 1		REV A

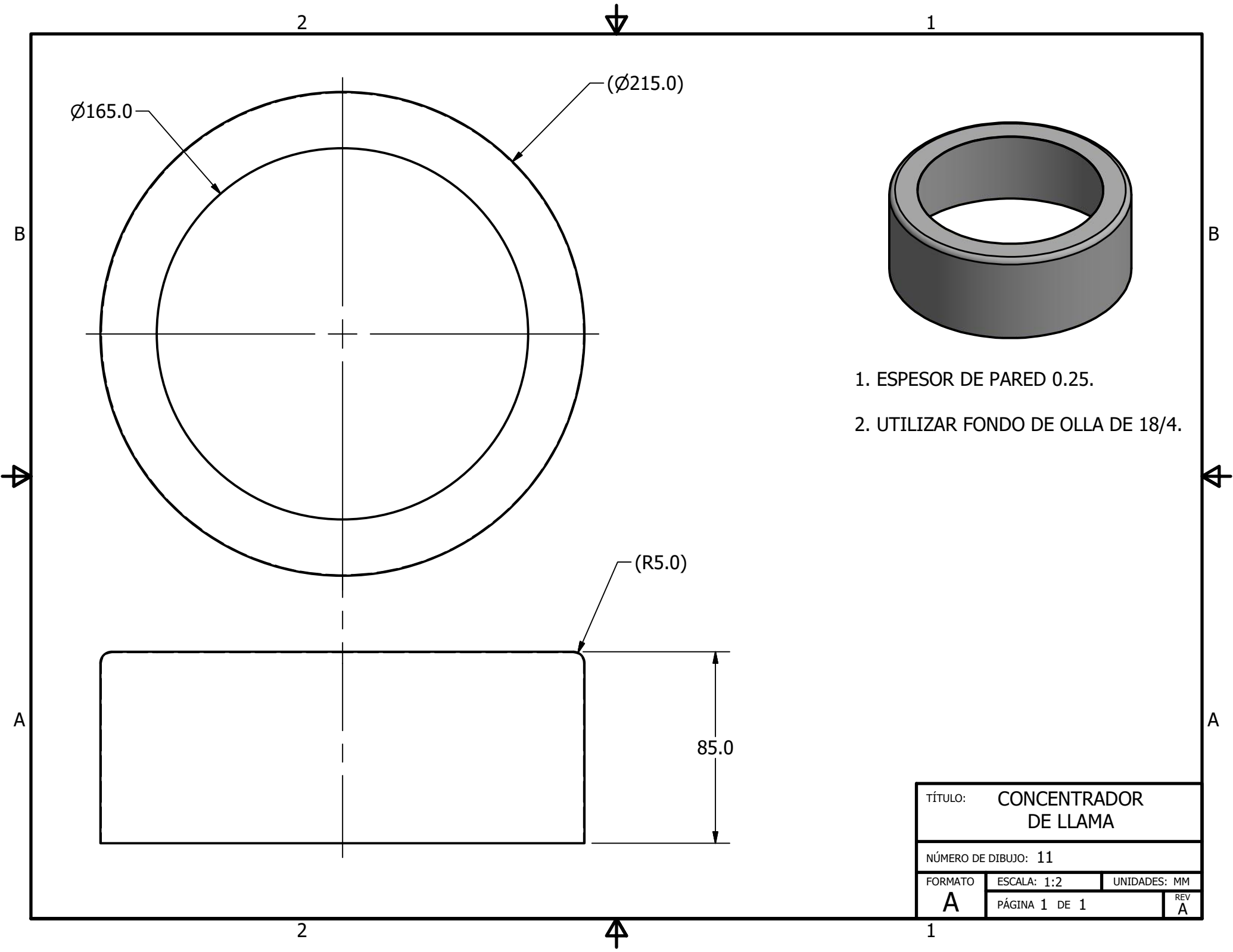


- 1. ESPESOR DE PARED 1.0.
- 2. UTILIZAR OLLA DE 16/4.

26X $\phi 5.0$
 PASADO
 PATRÓN 360°
 ESPACIADOS
 IGUALMENTE.

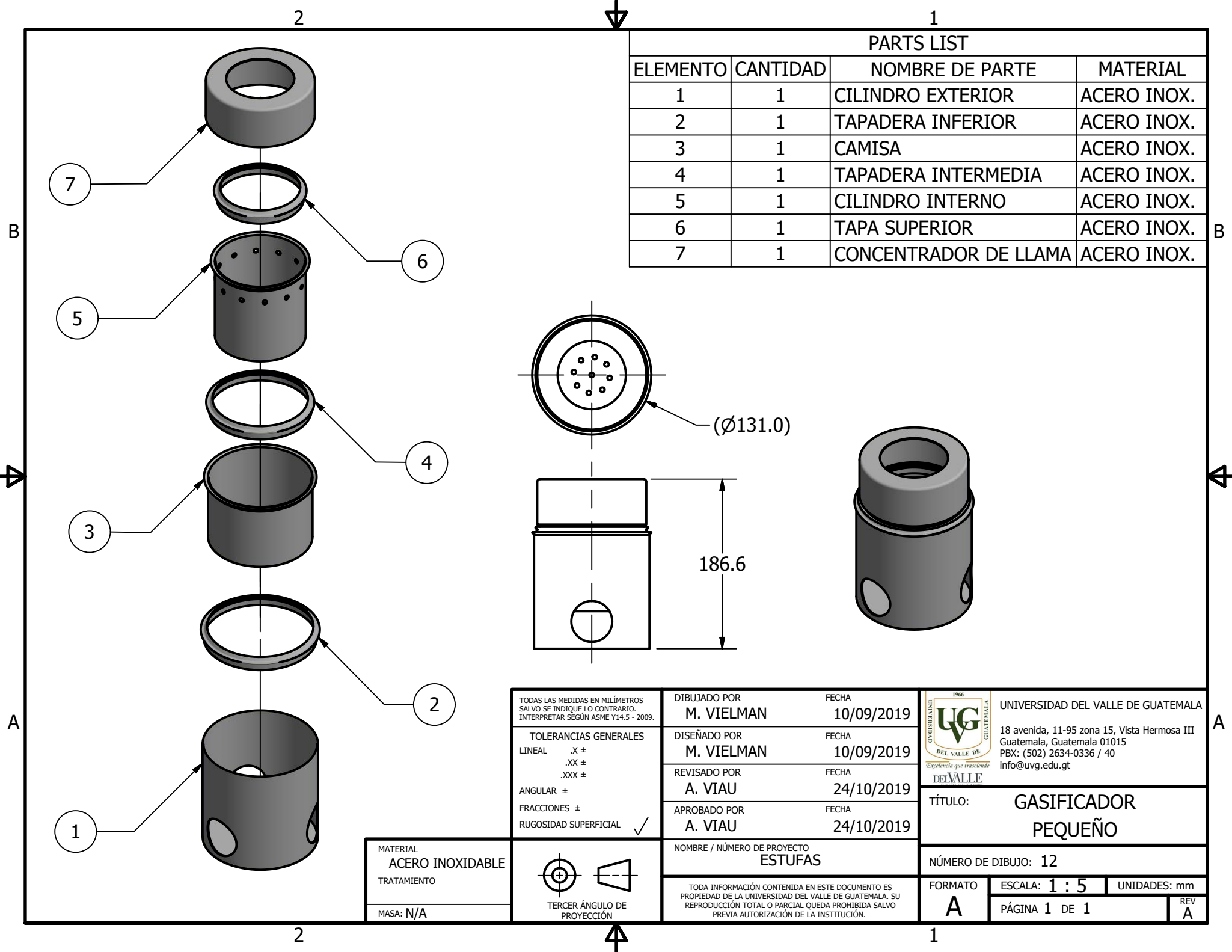
SECCIÓN A-A
ESCALA 1:4

TÍTULO: CILINDRO INTERIOR		
NÚMERO DE DIBUJO: 10		
FORMATO	ESCALA: 1:4	UNIDADES: MM
A	PÁGINA 1 DE 1	REV A

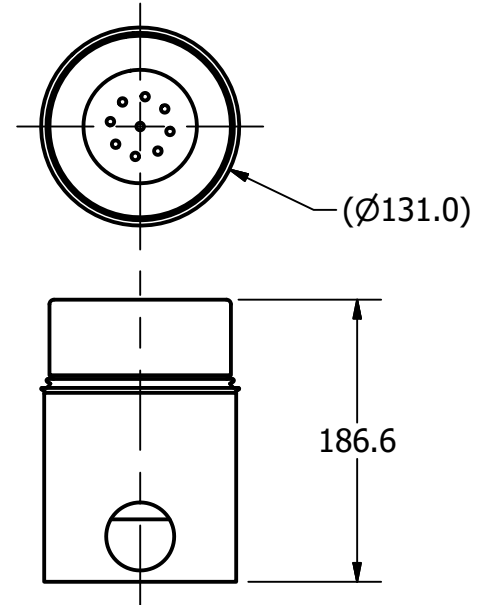


- 1. ESPESOR DE PARED 0.25.
- 2. UTILIZAR FONDO DE OLLA DE 18/4.

TÍTULO: CONCENTRADOR DE LLAMA		
NÚMERO DE DIBUJO: 11		
FORMATO	ESCALA: 1:2	UNIDADES: MM
A	PÁGINA 1 DE 1	REV A



PARTS LIST			
ELEMENTO	CANTIDAD	NOMBRE DE PARTE	MATERIAL
1	1	CILINDRO EXTERIOR	ACERO INOX.
2	1	TAPADERA INFERIOR	ACERO INOX.
3	1	CAMISA	ACERO INOX.
4	1	TAPADERA INTERMEDIA	ACERO INOX.
5	1	CILINDRO INTERNO	ACERO INOX.
6	1	TAPA SUPERIOR	ACERO INOX.
7	1	CONCENTRADOR DE LLAMA	ACERO INOX.

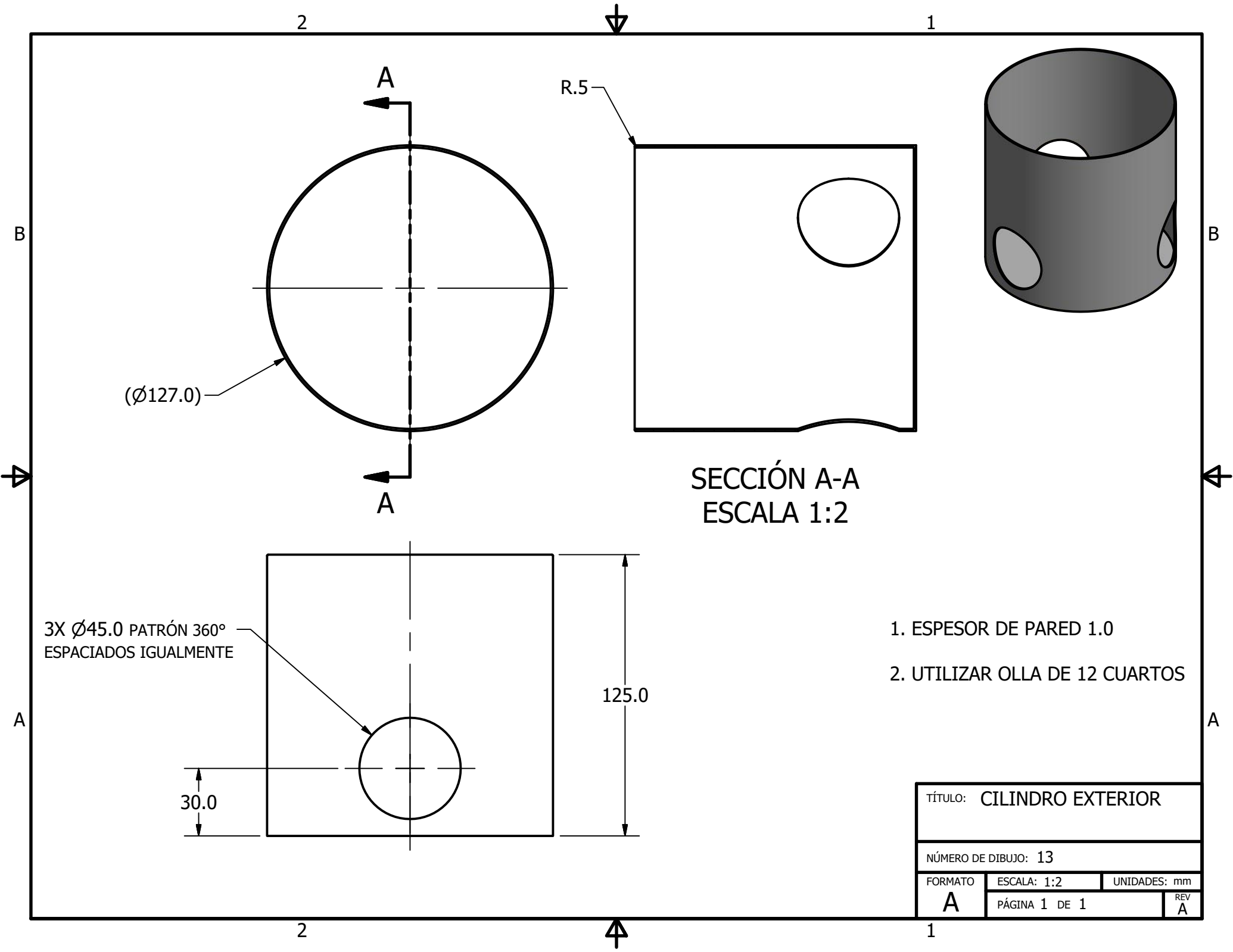


TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009. TOLERANCIAS GENERALES LINEAL .X ± .XX ± .XXX ± ANGULAR ± FRACCIONES ± RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓	DIBUJADO POR M. VIELMAN	FECHA 10/09/2019
	DISEÑADO POR M. VIELMAN	FECHA 10/09/2019
	REVISADO POR A. VIAU	FECHA 24/10/2019
	APROBADO POR A. VIAU	FECHA 24/10/2019
NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO ESTUFAS		
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.		

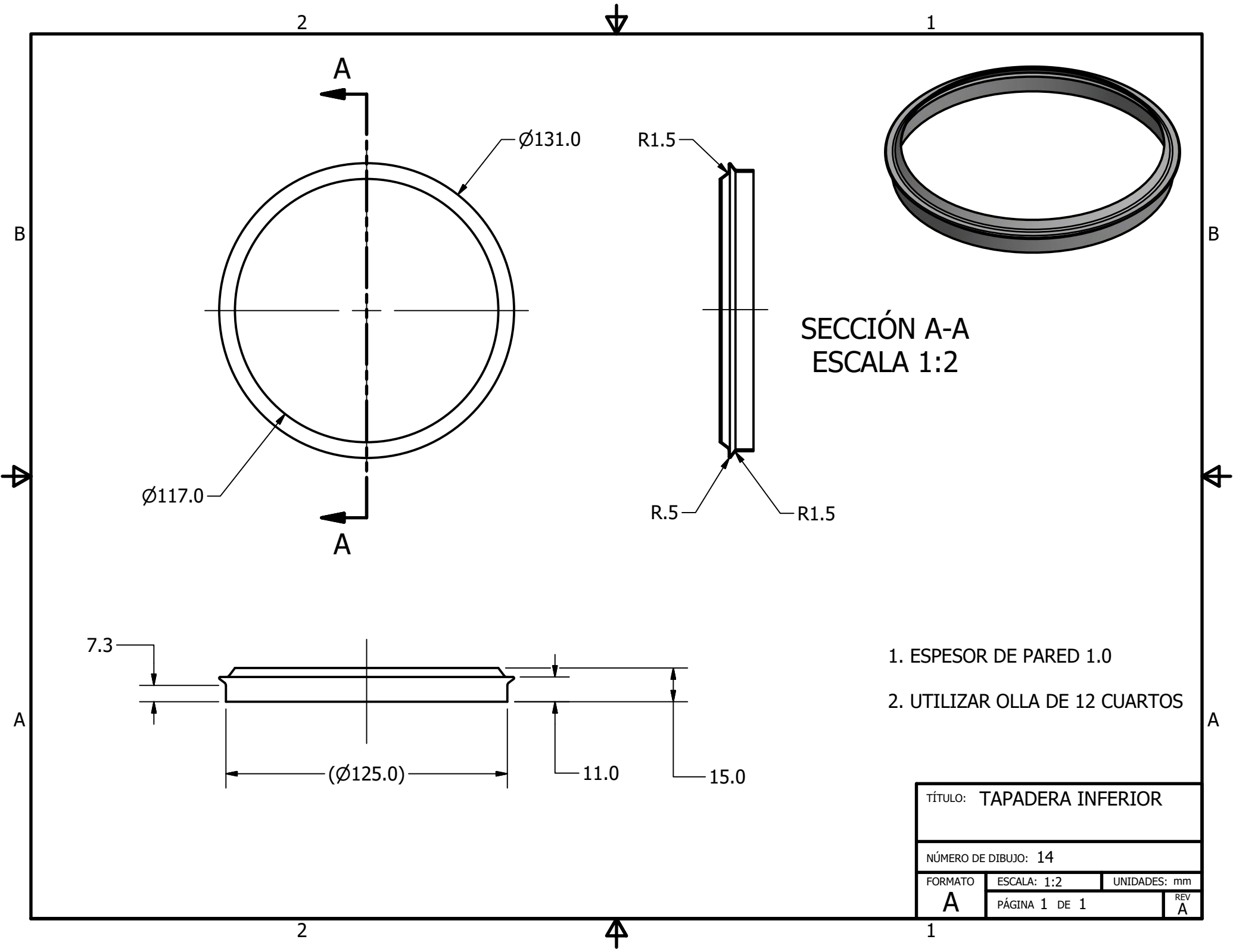
	UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA	
	18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III Guatemala, Guatemala 01015 PBX: (502) 2634-0336 / 40 info@uvg.edu.gt	
TÍTULO: GASIFICADOR PEQUEÑO		
NÚMERO DE DIBUJO: 12		
FORMATO A	ESCALA: 1 : 5	UNIDADES: mm
PÁGINA 1 DE 1		REV A

MATERIAL ACERO INOXIDABLE
TRATAMIENTO
MASA: N/A

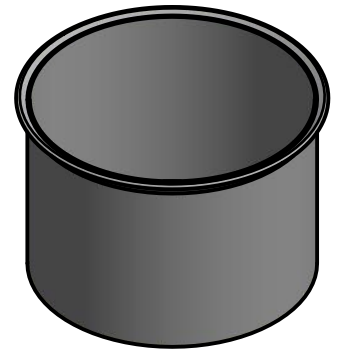
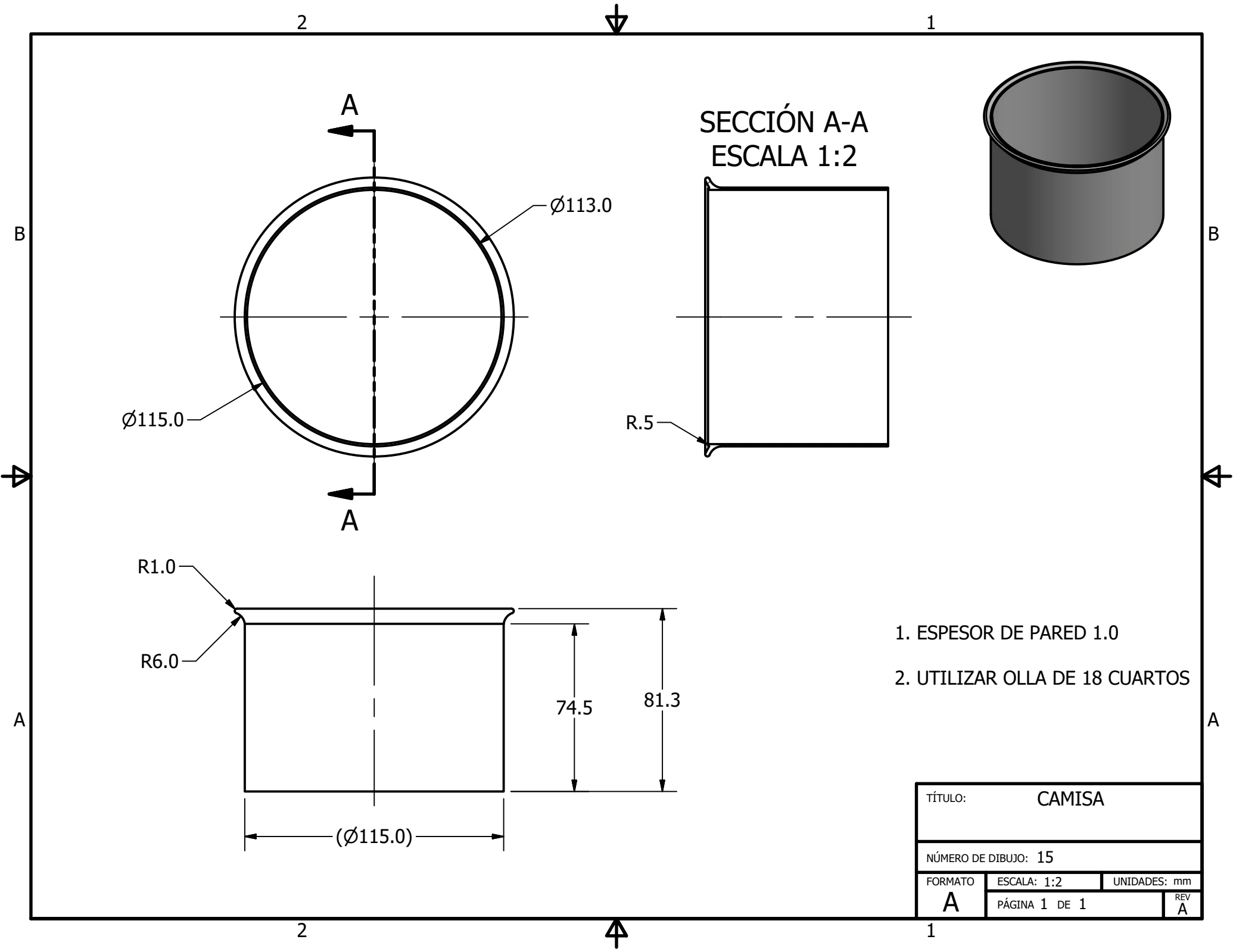




TÍTULO: CILINDRO EXTERIOR		
NÚMERO DE DIBUJO: 13		
FORMATO	ESCALA: 1:2	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 1 DE 1	REV A

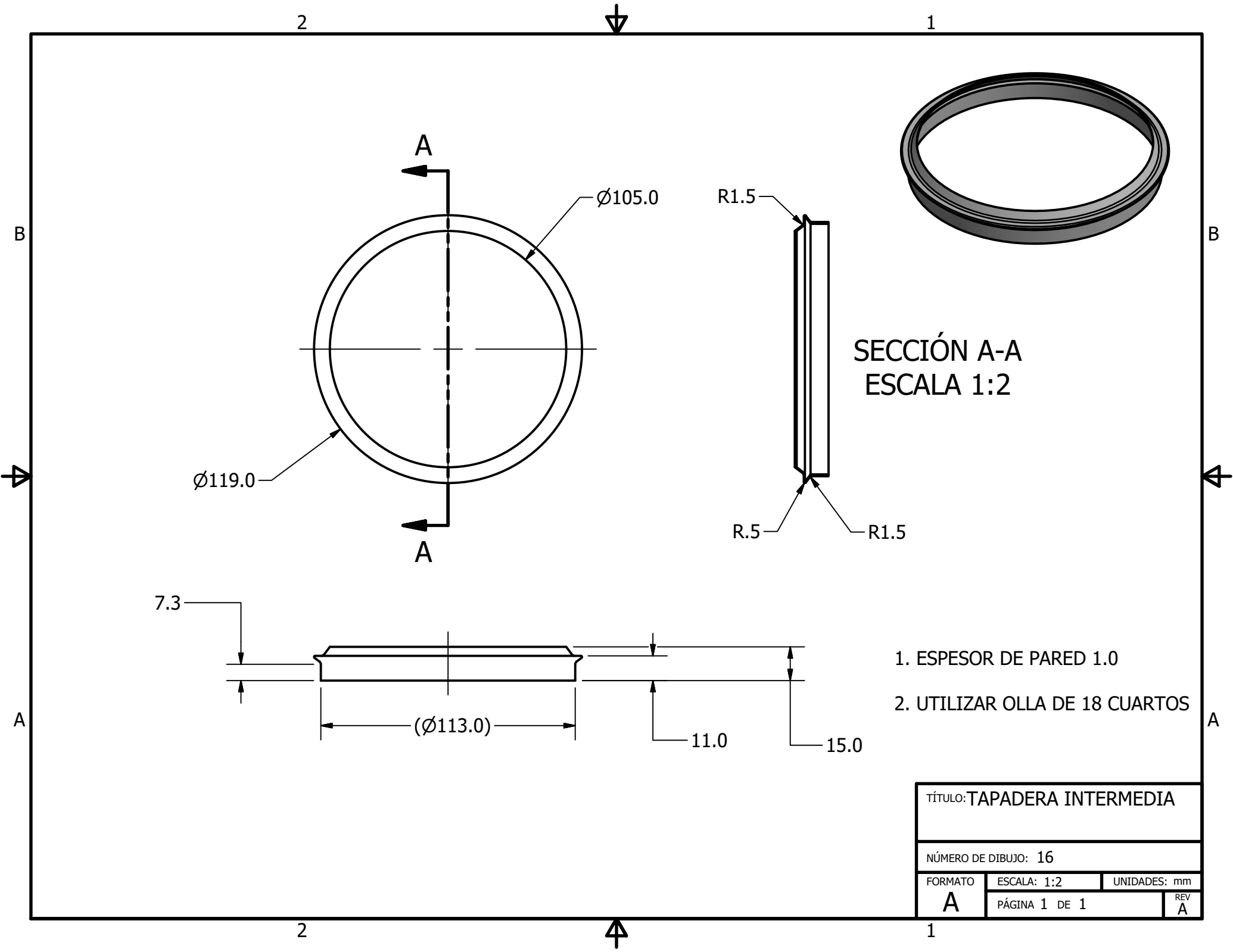


TÍTULO: TAPADERA INFERIOR		
NÚMERO DE DIBUJO: 14		
FORMATO	ESCALA: 1:2	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 1 DE 1	REV A



- 1. ESPESOR DE PARED 1.0
- 2. UTILIZAR OLLA DE 18 CUARTOS

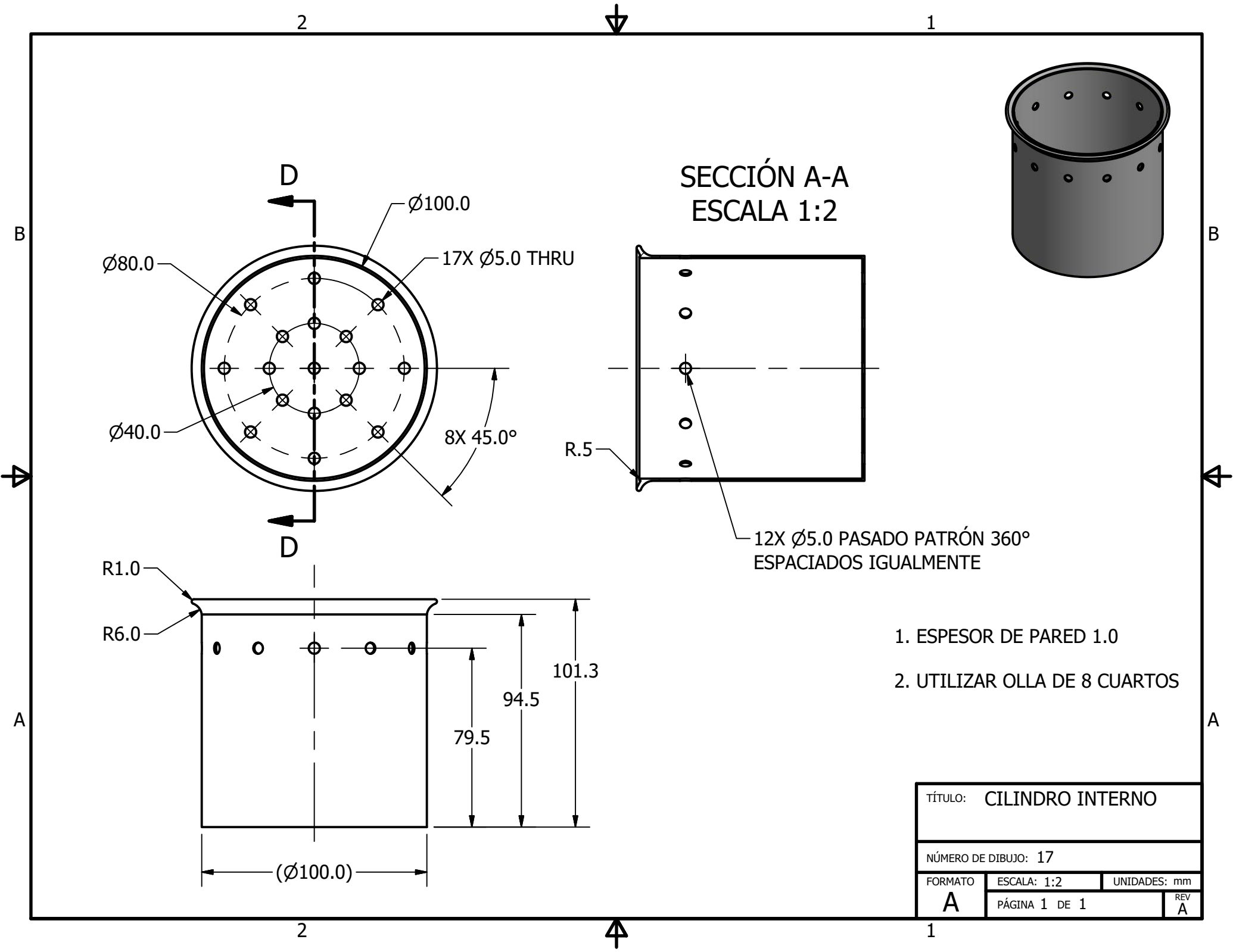
TÍTULO: CAMISA		
NÚMERO DE DIBUJO: 15		
FORMATO	ESCALA: 1:2	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 1 DE 1	REV A



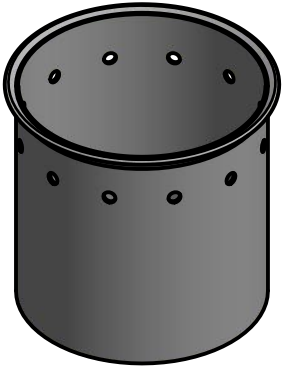
TÍTULO: TAPADERA INTERMEDIA

NÚMERO DE DIBUJO: 16

FORMATO	ESCALA: 1:2	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 1 DE 1	REV A

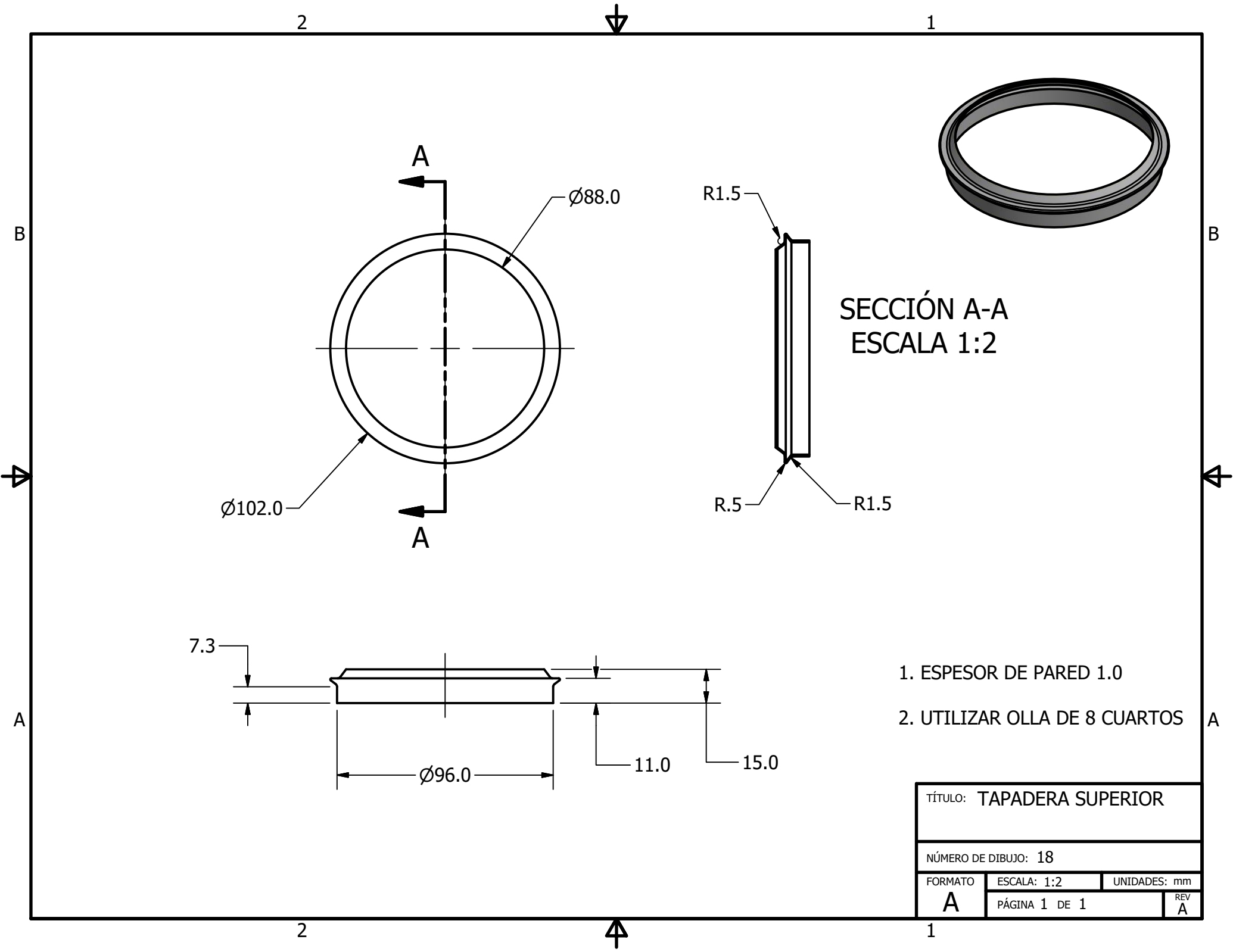


SECCIÓN A-A
ESCALA 1:2



1. ESPESOR DE PARED 1.0
2. UTILIZAR OLLA DE 8 CUARTOS

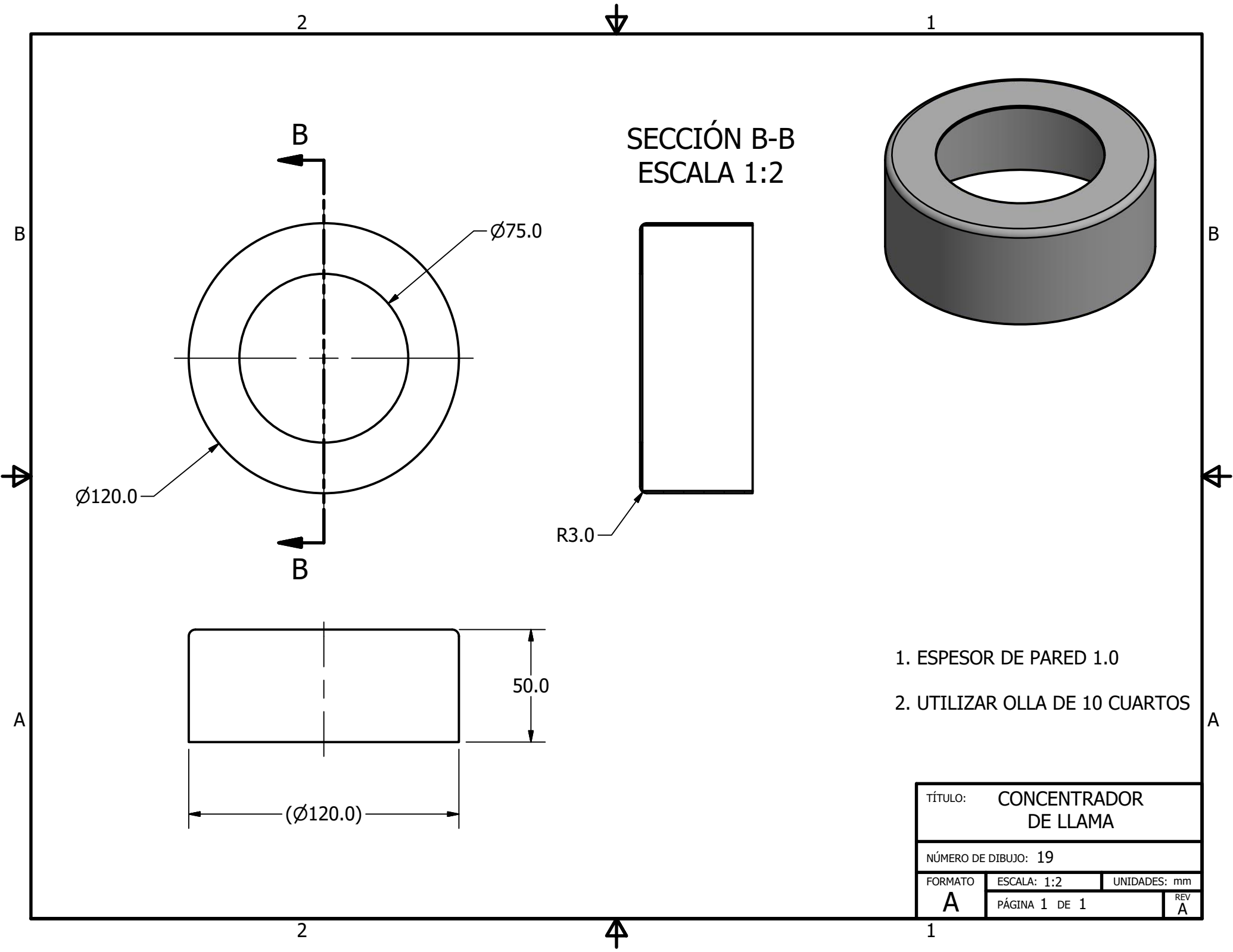
TÍTULO: CILINDRO INTERNO		
NÚMERO DE DIBUJO: 17		
FORMATO	ESCALA: 1:2	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 1 DE 1	REV A



SECCIÓN A-A
ESCALA 1:2

1. ESPESOR DE PARED 1.0
2. UTILIZAR OLLA DE 8 CUARTOS

TÍTULO: TAPADERA SUPERIOR		
NÚMERO DE DIBUJO: 18		
FORMATO	ESCALA: 1:2	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 1 DE 1	REV A



SECCIÓN B-B
ESCALA 1:2

1. ESPESOR DE PARED 1.0
2. UTILIZAR OLLA DE 10 CUARTOS

TÍTULO: CONCENTRADOR DE LLAMA			
NÚMERO DE DIBUJO: 19			
FORMATO	ESCALA: 1:2	UNIDADES: mm	REV
A	PÁGINA 1 DE 1		A