



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA COCINA ECOEFICIENTE A LEÑA PARA UNA FAMILIA DE 5 MIEMBROS

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO INGENIERO MECÁNICO

JONATHAN ALEXIS LOACHAMÍN TIPÁN
jonathan.loachamin@epn.edu.ec

JEFFERSON ANDRÉS QUISPHE PANELUISA
Jefferson.quisphe@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING.ÁNGEL PORTILLA AGUILAR, MSc.
angel.portilla@epn.edu.ec

Quito, marzo 2023

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **JONATHAN ALEXIS LOACHAMÍN TIPÁN** y **JEFFERSON ANDRÉS QUISPHE PANELUISA**, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'ANGEL PORTILLA', is written over a horizontal line. The signature is stylized and loops around the line.

ING. ANGEL PORTILLA, MSC

DIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros, **Jonathan Alexis Loachamin Tipán** y **Jefferson Andrés Quishpe Paneluisa**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Jonathan Alexis Loachamin Tipán



Jefferson Andrés Quishpe Paneluisa,

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme la fortaleza de seguir hacia adelante, aun cuando las cosas se ponían oscuras.

A mis padres, José Roberto y Susana, quienes son el pilar fundamental de mi vida, por apoyarme durante mi vida estudiantil y además enseñarme que con dedicación y esfuerzo se pueden lograr grandes cosas, los amo demasiado. Estaré eternamente agradecido con Dios por darme unos padres espectaculares.

A mis hermanos, Luis y Leidy, quienes son una parte importante de mi vida que con sus palabras de apoyo y motivación me han permitido seguir hacia adelante. Gracias por ser mis hermanos y siempre estar conmigo los quiero mucho.

A la Escuela Politécnica Nacional y Facultad de Ingeniería Mecánica por los conocimientos que me han logrado impartir durante mi estadía en la universidad, ya que gracias a ello he logrado desempeñarme de una mejor manera en el ámbito laboral. Además, quiero agradecer al Ing. Ángel Portilla, quien con su conocimiento nos permitió salir adelante con este proyecto.

Jonathan Alexis Loachamin Tipán

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme cumplir una meta más y guiar mis pasos en cada decisión que he tomado a lo largo de mi vida.

A mis padres, que día a día supieron estar a mi lado brindándome su apoyo incondicional, sin ellos nada de esto podría ser posible. También a toda mi familia, quienes conformamos el club deportivo “Real Mijin”, que domingo a domingo en cada partido me brindan esa alegría de estar juntos y compartir momentos inolvidables.

También quiero agradecer a mis amigos, aquellos que han sido temporales y en especial aquellos que han estado durante años, todos han sido una parte importante en este camino, cada salida, cada locura, cada anécdota me la llevaré siempre en el corazón.

A la Escuela Politécnica Nacional, la Facultad de Ingeniería Mecánica y a los docentes que supieron brindar el conocimiento necesario a lo largo de la carrera. Finalmente quiero expresar mi agradecimiento a nuestro director de tesis Ángel Portilla quien supo tenernos paciencia y guiarnos en este proyecto.

Jefferson Andrés Quishpe Paneluisa

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
1 MARCO TEÓRICO	3
1.1 Leña	4
1.1.1 Tipos de Leña.....	5
1.1.2 Propiedades físicas de la Madera.....	7
1.2 Combustión de la leña	9
1.2.1 Estequiometria de las combustiones	10
1.2.2 Etapas de la Combustión de la Leña).....	11
1.2.3 Parámetros para una combustión completa de la leña.	13
1.3 Clasificación de estufas	13
1.4 Transferencia de calor en el interior de una estufa a leña.....	16
1.4.1 Conducción	16
1.4.2 Convección.....	17
1.4.3 Radiación	18
1.5 Análisis de productos en el mercado (Benchmarking)	19
1.5.1 Modelo 1: Modelo CREP de cocina ecológica portátil.....	19
1.5.2 Modelo 2: Modelo Practifogón.	20
1.5.3 Competencia 3: Modelo Ecocinhor XT.....	20
2 METODOLOGÍA	21
2.1 Determinación de requerimientos.	22
2.1.1 Alternativas de solución.....	23
2.1.1.1 Alternativa 1: Cocina ecoeficiente móvil	23
2.1.1.2 Alternativa 2: Cocina ecoeficiente fija.....	24
2.1.2 Evaluación de las alternativas en función del orden de preferencia	25
2.2 Dimensionamiento de la cocina ecoeficiente	26
2.2.1 Cámara de combustión.....	27

2.2.2	Tiro natural	32
2.2.3	Recomendaciones para el dimensionamiento del ducto de la chimenea	34
2.2.4	Pérdida de calor sensible por inquemados y los gases de combustión.....	35
2.2.5	Relación de aire-combustible.....	37
2.2.6	Calor por pérdidas totales.....	38
2.2.7	Dimensionamiento general de la cocina ecológica	38
2.2.8	Ladrillos	44
2.2.8.1	Coeficiente de transferencia de calor por convección	44
2.2.8.2	Temperatura de película	45
2.2.8.3	Número de Grashof y número de Prandtl.....	46
2.2.8.4	Número Nusselt	47
2.2.8.5	Coeficiente de transferencia de calor por radiación.....	48
2.2.8.6	Coeficiente global de transferencia de calor paredes de ladrillo refractario	49
2.2.9	Eficiencia térmica de la cocina ecológica.....	53
2.3	Protocolo de pruebas.....	53
2.3.1	Prueba de funcionalidad y dimensiones.....	56
2.3.2	Prueba de ebullición de agua	57
2.3.3	Prueba de cocción controlada	59
2.3.4	Prueba de perfil de temperaturas.....	59
2.3.5	Consideraciones	60
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
3.1	Proceso de Cálculo.....	62
3.1.1.1	Dimensionamiento de la cámara de combustión	62
3.1.1.2	Calor útil para la cocción de alimentos	62
3.1.1.3	Flujo másico de combustible	63
3.1.1.4	Volumen de la cámara de combustión	63
3.1.2	Dimensionamiento de la chimenea	65
3.1.3	Calor de combustión de la leña	66

3.2	Dimensionamiento de la cocina	68
3.3	Cálculos de la eficiencia real de la estufa ecoeficiente	69
3.3.1	Análisis en la cámara de combustión.....	69
3.3.2	Pérdida de calor a través de la plancha de cocción	72
3.3.3	Pérdida de calor por gases de combustión hacia la chimenea.....	75
3.3.4	Pérdida de calor sensible por inquemados (ceniza).....	76
3.3.5	Calor de entrada suministrado por la combustión de la leña.....	76
3.3.6	Eficiencia de la cocina ecológica	77
3.4	CONSTRUCCIÓN DE LA COCINA ECOEFICIENTE.	78
3.4.1	Elementos metálicos.....	78
3.4.2	Construcción de la estructura de ladrillo y colocación de partes.....	79
3.5	Análisis de costos.....	84
3.6	Prueba y análisis de resultados	85
3.6.1	Prueba de ebullición de agua	87
3.6.2	Prueba de cocción de alimentos.....	89
3.6.3	Prueba de temperaturas	94
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
	ANEXO I. PROPIEDADES DEL AIRE	102
	Anexo II. FORMATOS PARA REGISTRO DE PRUEBAS.....	105
	ANEXO III. FOTOGRAFÍAS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS	108
	ANEXO IV. CÓDIGO PARA MEDICIÓN DE TEMPERATURAS	113
	ANEXO V. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS SENSORES DURANTE LAS PRUEBAS	115
	ANEXO VI. PLANOS	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Troncos de madera forestal	3
Figura 1.2. Recorte de madera y serrín.....	4
Figura 1.3. Madera recuperada.....	4
Figura 1.4. Eucalipto.....	5
Figura 1.5, Madera de ciprés	6
Figura 1.6. Volumen de leña y estéreo	8
Figura 1.7. Triángulo de combustión.....	9
Figura 1.8. Secado de Madera.....	11
Figura 1.9. Gasificación y oxidación de la madera	12
Figura 1.10. Quemado del carbón residual	12
Figura 1.11. Cocina tradicional Fija.....	14
Figura 1.12. Cocina mejorada Fija	14
Figura 1.13. Cocina tipo Patsari.....	15
Figura 1.14. Cocina tipo Rocket.....	15
Figura 1.15. Estufa portátil.....	16
Figura 1.16. Transferencia de calor por conducción.....	17
Figura 1.17. Transferencia de calor por convección.....	17
Figura 1.18. Transferencia de calor por radiación	19
Figura 2.1. Partes de la cocina ecoeficiente a leña	21
Figura 2.2. Modelo 1 de Cocina ecoeficiente trasportable.....	24
Figura 2.3. Modelo 2 de Cocina ecoeficiente fija.....	25
Figura 2.4. Geometría de la cámara de combustión	31
Figura 2.5. Tiro natural de gases de combustión	32
Figura 2.6. Dimensionamiento del ducto circular de la chimenea.....	33
Figura 2.7. direccionamiento del ducto de la chimenea.....	34
Figura 2.8. Altura respecto a los obstáculos	34
Figura 2.9. Incorporación de un sombrero en la boca externa de la chimenea.....	35
Figura 2.10. Modelo de transferencia de calor de los gases de combustión a través del ducto de la chimenea.....	36
Figura 2.11. Dimensionamiento de la cocina ecoeficiente.....	39
Figura 2.12. Superficie de las paredes de la cámara de combustión	42
Figura 2.13. Circuito térmico de la pared del ladrillo refractario.....	43
Figura 2.14. Circuito térmico de la plancha de cocción (hierro fundido)	49
Figura 3.1 dimensiones generales de los troncos apilados de leña.....	64
Figura 3.2 Geometría de la cámara de combustión	64

Figura 3.3 Tronzado de las astillas de leña.....	65
Figura 3.4. Colocación de la primera fila de ladrillos.	80
Figura 3.5. verificación de medidas.....	80
Figura 3.6. Encofrado de seguridad.....	81
Figura 3.7. Tronzado de las astillas de leña.....	81
Figura 3.8. Encofrado para sostener la cúpula del horno	82
Figura 3.9. Formación de la cúpula del horno	82
Figura 3.10. Colocación de la chimenea	83
Figura 3.11 Cocina ecoeficiente.....	83
Figura 3.12. Prueba de cocción controlada – inicio de cocina ecoeficiente en frío	90
Figura 3.13. Prueba de cocción controlada – inicio de cocina en caliente.....	91
Figura 3.14. prueba de cocción controlada - cocina GLP	91
Figura 3.15. prueba de cocción controlada – cocina de inducción	92
Figura 3.16. Prueba de temperatura con la cámara de combustión completamente en frío	94
Figura 3.17. Prueba de temperatura con la cámara de combustión precalentada.....	95
Figura 3.18. Prueba de temperatura con la cámara de combustión completamente caliente	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Propiedades de la madera de eucalipto	5
Tabla 1.2. Propiedades de la madera de ciprés	6
Tabla 1.3. Propiedades del pino	7
Tabla 1.4. Características técnicas de la cocina CREP.....	19
Tabla 1.5. Características técnicas de la cocina Practifogón.....	20
Tabla 1.6. Características técnicas de la cocina Ecocinhor XT	20
Tabla 2.1. Especificaciones técnicas de la cocina ecoeficiente	22
Tabla 2.2. Evaluación de criterios	25
Tabla 2.3. Evaluación del criterio eficiencia	26
Tabla 2.4. Evaluación del criterio precio.....	26
Tabla 2.5. Evaluación del criterio consumo de leña	26
Tabla 2.6 Evaluación de criterio de transportabilidad	26
Tabla 2.7 Conclusión	26
Tabla 2.8 Factor de conversión de masa suministrada a masa aprovechable	29
Tabla 2.9 Composición química de la madera de eucalipto y pino	29
Tabla 2.10. Placas de hornillas existentes en el mercado	40
Tabla 2.11 Ladrillos refractarios existentes en el mercado.....	44
Tabla 2.12. Materiales y equipos utilizados durante las pruebas	54
Tabla 2.13. Materiales usados en el circuito de Arduino	56
Tabla 3.1. Datos geográficos del sector Amaguaña.....	62
Tabla 3.2 Dimensiones generales de la cámara de combustión	65
Tabla 3.3 Masa molar de la leña.....	66
Tabla 3.4. Dimensiones de la cocina ecoeficiente.....	69
Tabla 3.5. Propiedades termo-físicas del aire	70
Tabla 3.6 Área superficial de transferencia de calor	72
Tabla 3.7 Propiedades térmicas del hierro fundido	72
Tabla 3.8 Propiedades termo físicas del aire a 384 °C.....	73
Tabla 3.9. Composición química de la madera utilizada	76
Tabla 3.10 Resumen de los cálculos para leña de eucalipto y pino	78
Tabla 3.11. Elementos Metálicos	78
Tabla 3.12. Elementos Metálicos	79
Tabla 3.13. Materiales Utilizadas	84
Tabla 3.14. Elementos fabricados.....	84
Tabla 3.15 Costos de la construcción de la cocina ecológica.....	84
Tabla 3.16 Costos indirectos.....	85

Tabla 3.17. Costos totales	85
Tabla 3.18 Dimensiones teóricas y reales de la cocina ecoeficiente	85
Tabla 3.19 Registro de prueba de funcionalidad	87
Tabla 3.20. Resultados de la prueba de ebullición del agua	88
Tabla 3.21. Resultados de la prueba de ebullición del agua	89
Tabla 3.22. Características de los recipientes.....	89
Tabla 3.23. Características de los recipientes de la cocina de inducción	90
Tabla 3.24. Resultados de la prueba de cocción.....	93

RESUMEN

El presente trabajo de titulación trata sobre el diseño y construcción de una cocina ecoeficiente, que fue instalada en la parroquia de Amaguaña. Este tipo de cocinas ecoeficientes son útiles, especialmente en lugares donde existen pocos puntos de distribución de gas de uso doméstico y la leña es accesible.

Por medio de la investigación del estado del arte, se determinaron los tipos de cocinas ecoeficientes que existen hoy en el mercado y se tomó esto como un punto de partida para el diseño del presente proyecto. Posteriormente, se establecieron las especificaciones técnicas y el dimensionamiento que debe tener la cocina para cumplir los requerimientos energéticos para su uso en una familia de 5 personas, para esto, se asumió una eficiencia térmica del 30%, valor que fue verificado una vez construida la cocina obteniendo una eficiencia real de 27%.

Se realizaron los cálculos pertinentes de calor entregado por la leña y las pérdidas que existen en la cocina. Posteriormente, se construyó la cocina en base a los planos de conjunto, subconjunto y de taller donde constan las medidas, materiales y especificaciones necesarias.

Para verificar el correcto funcionamiento de la cocina se realizaron pruebas de control de temperatura, ebullición de agua, cocción y funcionamiento donde se evidenció que efectivamente el tiempo de calentamiento son entre 10% y 35% menores a los que se obtienen en cocinas tradicionales como las de GLP.

Una vez construida la cocina y verificado su correcto funcionamiento, se realizó el análisis de los costos, directos, indirectos y de mano de obra, asociados a la construcción de la cocina ecoeficiente.

ABSTRACT

This thesis deals with the design and construction of an eco-efficient stove, which was installed in the parish of Amaguaña. This type of eco-efficient stoves is useful, especially, in places where there are few domestic gas distribution points and firewood is accessible. Through the research of the state of the art, these types of eco-efficient cookstoves, which exist today in the market, were determined and was taken as a starting point for the design of this project. Subsequently, the technical specifications and the sizing, that the stove must have to meet the energy requirements for use in a family of five people, were established. For this purpose, a thermal efficiency of 30% was assumed, and this value was verified once the stove was built, obtaining a real efficiency of 27%. Moreover, the pertinent calculations of heat delivered by the firewood and the losses that exist in the stove were calculated. After that, the stove was built based on the assembly, subassembly and workshop drawings showing the necessary measurements, materials and specifications. In order to verify the correct operation of the stove, temperature control, water boiling, cooking and operation tests were carried out; so, it was found that the heating times were between 10% and 35% less than those obtained in traditional stoves such as GLP stoves. Finally, Once the stove was built and its correct operation was verified, the direct, indirect, and labor costs associated with the construction of the eco-efficient stove were analyzed.

Keywords: Eco-efficient stoves, thermal efficiency, heat loss, boiling point, tests.

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, la cocina tradicional con fogones de leña es una de las principales actividades que aún se encuentra vigente en los sectores rurales. Por lo general, los pobladores de estos sectores optan por conseguir la leña en las fincas o bosques aledaños a sus hogares donde se puede conseguir sin mayor dificultad. Otro de los factores que influye en la preferencia del uso de la leña, es el difícil acceso a un punto de distribución de GLP que existe en varias ciudades, en especial en el campo, donde muchas veces se debe esperar mucho tiempo en las filas para comprar el producto, lo cual produce una cierta disconformidad en las personas. Debido a esto, los pobladores optan por conseguir la leña para la cocción de sus alimentos. Sin embargo, su uso no siempre se hace de manera adecuada, debido a un incorrecto diseño de la cocina, la combustión de la leña no se desarrolla correctamente, lo que incrementa el consumo de este recurso, generando un aumento en la contaminación por el uso excesivo de leña y los gases producidos en por su incorrecta combustión.

En su mayoría, las cocinas a base de leña se emplean en estructuras hechas de piedra o bloques de tierra que se ajustan al diámetro de la olla y que se encuentran elevadas del piso, las mismas que encienden la leña para la cocción de los alimentos. Este método de cocina también afecta a la persona que prepara los alimentos, ya que se encuentra en contacto directo con los gases producto de la quema de la leña, lo cual afecta directamente a su salud (Ruiz, 2019).

En la actualidad, los países subdesarrollados son los que presentan mayores problemas de deforestación debido al mal aprovechamiento de la madera como fuente de combustible para la obtención de energía en forma de calor. Específicamente, en el caso de las cocinas a base de leña, en los sectores rurales no se cuenta con un diseño que considere los principios de termodinámica como la transferencia de calor, determinación de pérdidas, trabajos realizados por el sistema, potencia, entre otros (Herguedas, 2012)

En el presente trabajo se plantea diseñar y construir una cocina ecoeficiente para 5 personas, la cual tenga una mejor eficiencia en cuanto al aprovechamiento del biocombustible, aproveche de mejor manera la energía calórica para la preparación de los alimentos y reduzca al mínimo el contacto directo de los gases de combustión con la persona que prepara los alimentos.

Objetivo general

Diseñar y construir una cocina ecoeficiente a base de leña para el uso de una familia de 5 miembros.

Objetivos específicos

- Diseñar un prototipo de cocina ecológica de fácil construcción y accesible para personas que carezcan de recursos energéticos en los distintos sectores rurales del país.
- Elaborar los planos de conjunto y de taller de la estufa mediante un software CAD.
- Realizar el análisis de costos de los elementos y procesos que intervienen en la construcción de la estufa ecológica.
- Efectuar las respectivas pruebas de temperatura, ebullición de agua y cocción controlada de alimentos.
- Comparar la eficiencia térmica y el desempeño en cocción de la cocina ecoeficiente, comparándola con cocinas tradicionales como las de inducción o las de GLP.

1 MARCO TEÓRICO

Se define biomasa forestal a todo tipo de materia orgánica que se utiliza como fuente de energía y que proviene de los trabajos de mantenimiento y mejora de las leñas (masas forestales) y de los subproductos generados por las industrias de transformación de la madera como serrín y cortezas.

Los productos leñosos han sido la primera fuente de energía renovable utilizada por el hombre hasta la revolución industrial. Incluso hoy en día, para gran parte de la humanidad, especialmente en los países más desfavorecidos, sigue siendo la principal fuente de energía, usada como combustible (Herguedas, 2012) . Estos combustibles leñosos, según su origen se clasifican en:

- **Combustibles de madera directos:** Están constituidos por madera y productos leñosos extraídos directamente de terrenos forestales y pueden ser visualizados en la Figura 1.1.



Figura 1.1. Troncos de madera forestal

Fuente: (Herguedas, 2012)

- **Combustibles de madera indirectos:** Son subproductos derivados de industrias primarias como: aserraderos, plantas de fabricación de papel y tableros, e industrias secundarias tales como: carpinterías y ebanisterías que comúnmente producen residuos como recortes de madera, serrín viruta, pallets, madera tratada, lejías negras procedentes de la fabricación de celulosa, o restos de corcho de la industria similares a las presentadas en la Figura 1.2 (Herguedas, 2012).



Figura 1.2. Recorte de madera y serrín
Fuente: (Herguedas, 2012)

- **Combustibles de madera recuperados:** Son derivados de todas las actividades económicas y sociales ajenas al sector forestal, tales como desechos de la construcción, demolición de edificios, bandejas de carga, contenedores, cajas de madera, etc.; como se puede observar en la figura 1.3



Figura 1.3. Madera recuperada
Fuente: (Herguedas, 2012)

Una vez detallado la clasificación de los combustibles leñosos, se considera que uno de los principales elementos empleados para la cocción de alimentos en los sectores rurales es la leña, la cual se puede obtener de manera directa o indirecta debido a la disponibilidad en los distintos sectores forestales e industrias madereras.

1.1 Leña

Se entiende por leña a la parte de árboles y arbustos que se utiliza para obtener energía. Se compone, principalmente, por madera y corteza que pueden quemarse directamente con fines energéticos. Además, pueden ser transformadas en astillas, carbón vegetal, o aportarse al suelo para generar nutrientes, una vez que se hayan triturado (Herguedas, 2012)

1.1.1 Tipos de Leña

En el Ecuador, así como en cualquier otro país predominan diferentes tipos de leña debido a que las diferentes especies de árboles se establecen en un determinado lugar por cuestiones de adaptación. De esta forma, se pueden identificar 3 tipos de leña que son el eucalipto, el ciprés y el pino.

En primer lugar, el eucalipto ofrece madera de gran resistencia, que puede ser utilizada incluso en exteriores, pero que es difícil de trabajar; por lo tanto, tiene mala fama, aunque sea potencialmente buena para ser explotada. Es un árbol que puede llegar a medir hasta 60 metros de altura. La Figura 1.4 muestra el árbol en bruto del árbol de eucalipto y la leña que se obtiene de él. Por otro lado, la Tabla 1.1 muestra algunas de las propiedades más importantes de este tipo de madera. También, es una madera que presenta tensiones internas, de difícil aserrado, secado muy complejo.



Figura 1.4. Eucalipto

Fuente: (Maderame, 2022)

Tabla 1.1. Propiedades de la madera de eucalipto

Propiedad	Característica
Color	Duramen de color marrón pálido, casi amarilla y albura de color claro
Fibra	Entrelazada
Grano	De medio a grueso
Densidad [$\frac{kg}{m^3}$]	780 – 830 al 12% de humedad
Dureza	Semidura con 3.9 en la prueba de Monnin
Durabilidad	Susceptible al ataque de insectos. Si es tratada correctamente, puede ser utilizada en exteriores.
Resistencia a la flexión estática [$\frac{kg}{cm^2}$]	1420
Resistencia a la compresión [$\frac{kg}{cm^2}$]	760
Módulo de elasticidad [$\frac{kg}{cm^2}$]	165000

Fuente: (Maderame, 2022)

Por otro lado, la madera de ciprés es de alta calidad, semidura, durable y de bonitas tonalidades. Se presenta en zonas templadas y cálidas. Su uso se ha extendido ampliamente en el sector inmobiliario, embarcaciones, instrumentos musicales, torneados y, por supuesto, como leña. A continuación, la Figura 1.5 muestra el apilamiento de madera de ciprés, destinado para leña. Además, la Tabla 1.2 muestra algunas propiedades físicas y mecánicas de este tipo de madera. En términos de trabajabilidad, es difícil de aserrar debido al elevado número de nudos, requiere ser taladrado antes de poder ser clavado o atornillado, es una mala opción si se requiere realizar una curvatura y presenta buen encolado y acabados (Maderame, 2022).



Figura 1.5, Madera de ciprés

Fuente: (Maderame, 2022)

Tabla 1.2. Propiedades de la madera de ciprés

Propiedad	Característica
Color	Duramen de amarillo pálido a marrón y albura más clara.
fibra	Recta, aunque con irregularidades según el número de nudos
Grano	Fino
Densidad [$\frac{kg}{m^3}$]	450 – 550
Dureza Janka [lbf]	430 – 550
Resistencia a la flexión [$\frac{kg}{cm^2}$]	1030
Resistencia a la compresión [$\frac{kg}{cm^2}$]	500
Resistencia a la tracción [$\frac{kg}{cm^2}$]	110
Módulo de elasticidad [$\frac{kg}{cm^2}$]	75000

Fuente: (Maderame, 2022)

Finalmente, el pino es una especie exótica de la serranía ecuatoriana de rápido crecimiento. Es posiblemente la más utilizada debido a su adaptabilidad y rentabilidad durante su producción. Se utiliza en tableros aglomerados, cercas vivas, sistemas silvopastoriles y como leña. Es fácil de trabajar; sin embargo, presenta defectos que

dificultan el cepillado y moldurado. A continuación, la Tabla 1.3 muestra algunas propiedades importantes de la madera de pino.

Tabla 1.3. Propiedades del pino

Propiedad	Característica
Color	La albura es blanca, con transición gradual a duramen amarillo pálido que incrementa a marrón muy pálido.
Textura	Fina
Grano	Recto
Durabilidad	No es resistente al ataque de insectos y hongos
Densidad [$\frac{g}{cm^3}$]	Verde: 1.04 Seco al aire: 0.48 Básica: 0.39
Flexión estática [$\frac{kg}{cm^2}$]	550 – 793
Compresión paralela [$\frac{kg}{cm^2}$]	299 – 434
Compresión perpendicular [$\frac{kg}{cm^2}$]	74 – 136
Dureza Janka [kg]	Lados: 348 Extremos: 472

Fuente: (Maderame, 2022)

1.1.2 Propiedades físicas de la Madera

La forma de la leña es una característica muy importante, ya que afecta su combustión. Si el diámetro es pequeño, la leña arde más rápido. Por otro lado, la homogeneidad en la forma de la madera influirá en el coeficiente de apilado (Herguedas, 2012). El color de la madera dependerá de la especie a considerar, de su humedad y de los líquenes, o incluso impurezas, que estén adheridos a ella durante el manejo y transporte. De esta forma, se puede comprender que las propiedades físicas de la madera influyen en el diseño de una cocina ecoeficiente. A continuación, se detalla dos propiedades importantes de la madera como son la densidad, por lo tanto, el peso, la superficie específica y la humedad.

Densidad y Peso

El volumen de leña se mide en estéreos, y este concepto se define como un metro cúbico de leñas en el que están incluidos los huecos que quedan entre las maderas apiladas, es decir, un metro cúbico de volumen aparente (Herguedas, 2012). Su peso dependerá de la forma y dimensiones de la leña apilada, de su humedad, de la densidad

de la madera y de la corteza y de la habilidad del operario para apilar la leña aprovechando el espacio al máximo como se puede apreciar en la Figura 1.6.



Figura 1.6. Volumen de leña y estéreo

Fuente: (Herguedas, 2012)

Para calcular la densidad de la leña se debe tener en cuenta tanto la madera como la corteza, según la Ecuación 1.1:

$$d_l = \frac{m_m + m_c}{\frac{m_m}{d_m} + \frac{m_c}{d_c}}$$

Ecuación 1.1. Densidad de la leña

Donde:

d_l : Densidad de la leña $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

m_m : Masa de la madera. $[kg]$

m_c : Masa de la corteza. $[kg]$

d_m : Densidad de la madera. $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

d_c : Densidad de la corteza. $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

Superficie específica y humedad

La superficie específica de la leña es el área que ocupa la madera por unidad de masa (m^2/g), la cual dependerá de la forma y tamaño de la leña. A mayor superficie específica, más rápida será la combustión del biocombustible (Herguedas, 2012).

Po otro lado, la humedad de la leña es una propiedad que afecta directamente al poder calorífico de la biomasa. A mayor humedad, menos útil es la leña para obtener energía, ya que el poder calorífico de la misma es menor, ya que parte del calor generado en la combustión de la leña se emplea para evaporar el agua presente en la misma, y no para

generar energía. Además, la humedad influye en los costes de transporte (Herguedas, 2012).

1.2 Combustión de la leña

La combustión comprende un conjunto de reacciones de oxidación con generación de calor y que se produce en la presencia de dos elementos: el combustible, que puede ser un sólido (Carbón, Madera, etc.), un líquido (Gasóleo, Fuel-Oil, etc.) o un gas (Natural, Propano, etc.) y el comburente Oxígeno.

Se distingue de otros procesos de oxidación lenta, por ser un proceso de oxidación rápida y con presencia de llama; a su vez, se diferencia de otros procesos de oxidación muy rápida (detonaciones, deflagraciones y explosiones) por obtenerse del mantenimiento de una llama estable (García, 2001).

Para que se logre generar una adecuada combustión, deben coexistir tres factores que son: Combustible, Comburente y Energía de activación. Estos tres factores se representan en el denominado triángulo de combustión Figura 1.7. En caso de que uno de estos vértices faltase, la combustión no podría llevarse a cabo.

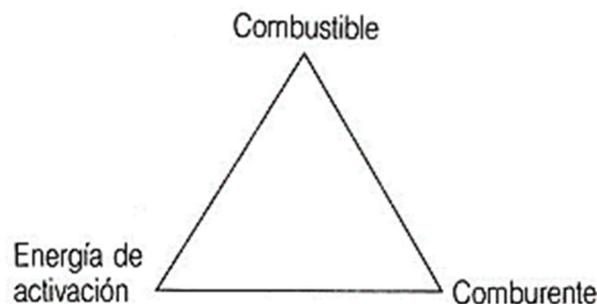


Figura 1.7. Triángulo de combustión

Fuente: (García, 2001)

El comburente universal es el oxígeno, el cual se obtiene directamente del aire, ya que está compuesto, prácticamente, por 21% Oxígeno (O₂) y 79% Nitrógeno (N₂); únicamente en casos especiales, se utilizan atmósferas enriquecidas en oxígeno e incluso oxígeno puro (por ejemplo, en soldadura) (García, 2001).

Por otro lado, la energía de activación es el elemento desencadenante de la reacción de combustión; en los quemadores habitualmente suele obtenerse mediante una chispa eléctrica entre dos electrodos, en las calderas individuales de gas, se obtiene por llama piloto, tren de chispas, etc.

1.2.1 Estequiometría de las combustiones

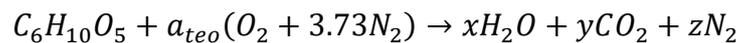
Es este tipo de estequiometría, se emplean las relaciones másicas y volumétricas entre reactivos y productos, buscando determinar, principalmente:

- El aire necesario para la combustión
- Los productos de la combustión y su composición

Para predecir estas cantidades, es preciso referirse a un proceso ideal que dependa de pocos parámetros, básicamente la naturaleza del combustible (García, 2001) .

Combustión completa

Conduce a la oxidación total (suficiente entrega de oxígeno) de todos los elementos que constituyen el combustible (Bilbao, 2018). Según (Cengel & Boles, 2015), la reacción de combustión completa de la madera se lleva a cabo según la Ecuación 1.2.



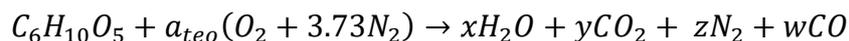
Ecuación 1.2. Ecuación de combustión completa

Donde:

x, y, z : Número de moles.

Combustión incompleta

Los componentes del combustible no se oxidan (entrega de oxígeno insuficiente) totalmente, por lo que aparecen los denominados inquemados. Entre los inquemados más importantes se presentan el CO (Monóxido de carbono) y H₂ (hidrogeno); otros posibles inquemados son carbono y restos de combustibles (García Pacheco & Pañi Riera, 2013). La reacción de combustión incompleta de la madera se modela según la Ecuación 1.3.



Ecuación 1.3. Ecuación de combustión incompleta

Donde:

x, y, z, w : Número de moles.

Se requiere que en la combustión incompleta el monóxido de carbono no esté presente el monóxido de carbono; ya que, puede provocar daños perjudiciales en la salud y es un indicador de la incorrecta combustión, generando la presencia de gases oscuros en el sistema de ventilación (chimenea). Para la eliminación del monóxido de carbono, se puede emplear un sistema de aire secundario.

1.2.2 Etapas de la Combustión de la Leña)

La combustión de la leña ocurre en tres etapas que son: secado, gasificación y oxidación.

Secado de madera

Inicialmente la superficie exterior de leña recibe calor por radiación de las llamas, calentando el agua contenida en la madera sobre su punto de evaporación, como se puede observar en la Figura 1.8. En este momento, inicia el proceso de secado, liberando la humedad en forma de vapor de agua. El secado consume una fracción importante de la energía liberada en el proceso de combustión. Entonces, mientras mayor sea el contenido de agua inicial, mayor es la cantidad de energía consumida por este proceso y más lento es el calentamiento de la leña (Santana, 2004).



Figura 1.8. Secado de Madera

Fuente: Santana, 2004

Gasificación y oxidación de la materia volátil

La materia volátil se oxida sólo bajo altas temperaturas y en presencia de suficiente oxígeno. Este proceso de combustión con liberación de calor produce llamas largas y brillantes, que son características de la combustión de la leña seca. Si la materia volátil no se quema por completo al interior del fogón, se emitirán gases no quemados, que condensarán sobre las paredes frías de los ductos de evacuación, formando los depósitos de creosota. La Figura 1.9 muestra el proceso de gasificación y oxidación de la madera.

También, estos compuestos no quemados serán emitidos posteriormente como humo de color visible con una fuerte contaminación atmosférica en el área. El humo, también, representa una pérdida de eficiencia debido a que contiene una gran parte de la energía presente en la madera (Santana, 2004).



Figura 1.9. Gasificación y oxidación de la madera

Fuente: Santana, 2004

Quemado del carbón residual

Al liberarse completamente la materia volátil de la madera, permanece como producto residual el carbón sólido junto con ceniza no combustible, como puede visualizarse en la Figura 1.10. Este compuesto se caracteriza por su combustión superficial con un resplandor rojo y llama muy pequeña, que genera temperaturas altas entre 600 y 1.000 °C. El carbón es un combustible limpio que se quema fácilmente en presencia de suficiente oxígeno, sin generar humos (Santana, 2004).

En la práctica, las tres fases de combustión de madera, anteriormente descritas, ocurren simultáneamente. Esto significa que los gases de la materia volátil pueden estar quemándose con grandes llamas mientras que, sobre la superficie del combustible, el carbón se quema con el característico resplandor rojo y el agua en el centro de la leña se evapora lentamente.



Figura 1.10. Quemado del carbón residual

Fuente: Santana, 2004

1.2.3 Parámetros para una combustión completa de la leña.

Para lograr la combustión completa de los productos debido a la descomposición térmica de la madera, según (Santana, 2004), se requieren las siguientes condiciones:

Temperatura: La temperatura mínima que se requiere mantener al interior de un hogar para garantizar la combustión completa de los productos gaseosos debe ser lo más alta posible. En la literatura se indican valores promedios en la zona de combustión de mínimo 600 °C a máximo 1.000 °C.

Tiempo: Para lograr una combustión completa se debe garantizar un tiempo mínimo de residencia de los gases al interior del hogar. Por ejemplo, si se presentan temperaturas mayores a 900 °C.

Turbulencia: Incorporando un regulador de aire primario que inyecta aire desde abajo, y otro de aire secundario, el cual inyecta oxígeno por la parte alta favoreciendo una segunda combustión de los gases volátiles y de las partículas no quemadas, permitiendo la entrada de una mayor cantidad de aire dentro de la cámara de combustión (Ruiz, 2019).

Solamente si se cumple con estas tres reglas básicas de temperatura mínima, tiempo de residencia mínimo y alta turbulencia, se puede llevar a cabo una combustión óptima de la leña con la mínima emisión de gases contaminante (Santana, 2004).

1.3 Clasificación de estufas

Una cocina o estufa ecoeficiente ya sea fija o móvil utiliza como principal fuente de combustible la leña, esta puede ser de diferentes tipos, pero todas se caracterizan por contar con un determinado espacio para que se pueda producir la combustión de la leña y una chimenea que permite la salida del humo que se produce en la cámara de combustión (Bettin Sánchez & Galvis Padilla , 2017).

Los principales tipos de cocinas a leña mejoradas son:

- **Tradicional fija (Lorena):** Se construyen con adobe y barro, permitiendo el ahorro de alrededor del 50% de la cantidad de biomasa que se utiliza para la obtención de energía calorífica. Cuenta con escalones internos por donde circula los gases emitidos por la combustión de la biomasa que, posteriormente, serán expulsados por una chimenea colocada al final de la cocina. Para la preparación de los alimentos, se preparan orificios para que se pueden colocar las ollas (Bettin

Sánchez & Galvis Padilla , 2017). La Figura 1.11 muestra una estufa tradicional fija hecha con las condiciones previamente descritas.

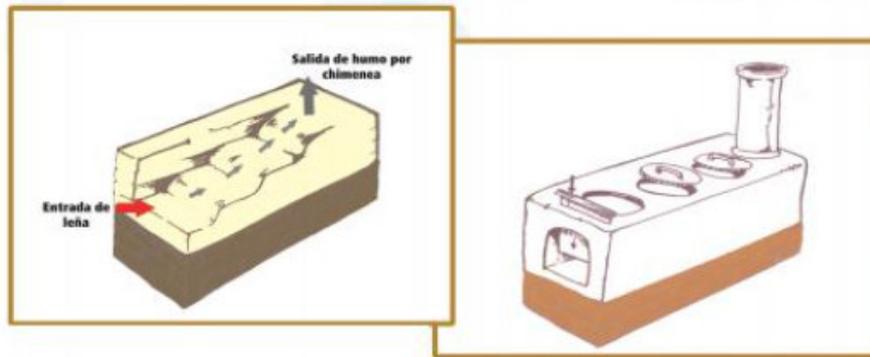


Figura 1.11. Cocina tradicional Fija

Fuente: (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2018)

- **Mejorada fija:** Las mejoras presentadas en este tipo de cocinas están presentes en el interior, ya que presentan una eficiencia de alrededor de un 55% y reduce la emisión de partículas producidas por la combustión en un 86%. Con un correcto diseño se le pudo implementar un horno, chimenea y un reservorio para colocar agua, tal como se muestra en la Figura 1.12.



Figura 1.12. Cocina mejorada Fija

Fuente: (FARO, 2022)

- **Patsari:** Este tipo de estufa se presenta en la Figura 1.13 y tiene el mismo principio de construcción que la estufa Lorena; sin embargo, tiene características de diseño diferentes en el interior de la estufa, desarrollados por el instituto de ingeniería de la UNAM. (Bettin Sánchez & Galvis Padilla , 2017). Permite reducir el consumo de leña, genera un ahorro de tiempo y dinero, y puede llegar a tener una duración de aproximadamente 10 años. Otra de sus ventajas es su fácil utilización y costo bajo de construcción.

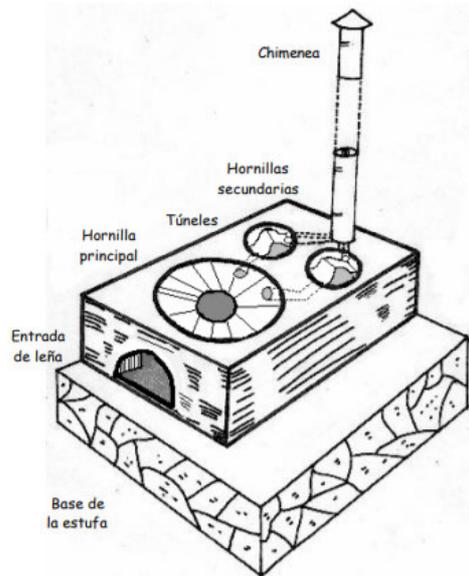


Figura 1.13. Cocina tipo Patsari
(Fuente: (Díaz, Gabriel, Molina, & Marcos, 2003))

- **Rocket:** Se las conoce también como cocina cohete por el sonido que produce la quema de la leña durante su funcionamiento. Existen de varias formas, pero todas cumplen el mismo principio de reducir el consumo de leña. Su construcción y mantenimiento son fáciles y no son costosos. Se puede elaborar a base de hierro, cerámica, piedra o ladrillo, según la Figura 1.14 (Estufas MX, 2022).



Figura 1.14. Cocina tipo Rocket
(Fuente: (Estufas MX, 2022))

- **Estufas portátiles:** Se pueden realizar a base de materiales como acero, en el exterior mientras que, en el interior, utiliza materiales de aislamiento como los cerámicos para evitar la pérdida de calor generado por la combustión de la biomasa que se utilice. Por lo general, este cuenta con horno y orificios para colocar ollas; además, la chimenea permite la salida de los gases de combustión (FARO, 2022). Esta cocina puede visualizarse en la Figura 1.15.



Figura 1.15. Estufa portátil.
(Fuente: (FARO, 2022))

1.4 Transferencia de calor en el interior de una estufa a leña

Los mecanismos de transferencia de calor, en el interior de una estufa a leña, que pueden evidenciarse son: conducción, convección y radiación (luz y combustión).

1.4.1 Conducción

La conducción es el mecanismo de transferencia de calor a través de objetos sólidos, tales como el suelo o los ladrillos en una pared de la chimenea, considerando que mientras más denso es el material, más calor se puede transportar de un lugar a otro. La transferencia de calor por conducción en las cocinas a leña se genera a través de la cámara de combustión, paredes internas de la cocina y hornillas. De acuerdo con (Çengel & Ghajar, 2011). La Ecuación 1.4 representa la forma de calcular la transferencia de calor por conducción y la Figura 1.16 bosqueja este mecanismo.

$$\dot{Q}_{cond} = K * A_S * \left(\frac{\Delta T}{\Delta x} \right) [W]$$

Ecuación 1.4. Calor de conducción

Donde:

\dot{Q}_{cond} : Flujo de calor por conducción [W]

K : Conductividad térmica $\left[\frac{W}{mK} \right]$

A_S : Área de transferencia de calor [m^2]

ΔT : Variación de temperatura.

Δx : Distancia en la dirección del flujo de calor [m]

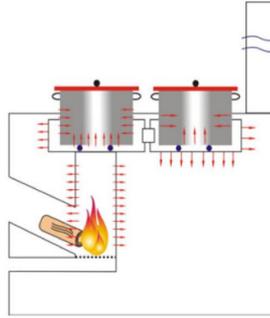


Figura 1.16. Transferencia de calor por conducción

Fuente: (Harold & Alvarez, 2011)

1.4.2 Convección

La convección es el mecanismo de transferencia de calor que ocurre cuando una superficie sólida entra en contacto con un fluido, ya sea este un líquido o un gas, que se encuentran a diferentes temperaturas y en movimiento (Çengel & Ghajar, 2011). De acuerdo con la Figura 1.17, la transferencia de calor por convección, en las estufas a leña, ocurre cuando los gases de combustión tienden a fluir a una superficie de diferente temperatura y, posteriormente, intercambian la energía calorífica por conducción. El calor generado por este mecanismo puede obtenerse mediante la Ecuación 1.5.

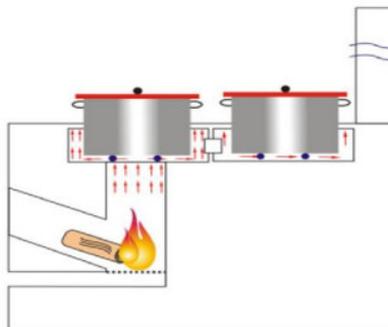


Figura 1.17. Transferencia de calor por convección

Fuente: (Harold & Alvarez, 2011)

$$\dot{Q}_{conv} = h * A_S * (T_s - T_{\infty}) [W]$$

Ecuación 1.5. Calor de convección

Donde:

\dot{Q}_{conv} : Flujo de calor por convección [W]

h : coeficiente de transferencia de calor por convección $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$

A_s : área superficial [m^2]

T_s : Temperatura de la superficie [K]

T_∞ : Temperatura del fluido [K]

1.4.3 Radiación

La radiación es el mecanismo de transferencia de calor que ocurre sin que exista contacto entre los objetos. Ocurre a través de las ondas electromagnéticas, como la luz visible, ultravioleta e infrarrojo, que se propagan por el espacio. Para que se produzca la radiación del calor no se requiere la presencia de material. En este caso de estudio la radiación se emite a través de la llama producto de la combustión de la leña. La Figura 1.18 indica como ocurre este mecanismo.

Considerando que la cocina se cuenta con un sistema cerrado conformado por una superficie de emisividad y un área superficial, ajustada a una determinada temperatura termodinámica, la razón neta de transferencia de calor por radiación entre las dos superficies se expresa con la Ecuación 1.6.

$$\dot{Q}_{radiación} = \varepsilon * \sigma * A_s * (T_s^4 - T_{alr}^4) [W]$$

Ecuación 1.6. Calor por radiación

Donde:

\dot{Q}_{rad} : Flujo de calor por radiación [W]

$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$, constante de Stefan-Boltzmann

ε : emisividad

A_s : área superficial [m^2]

T_s : Temperatura superficial [K]

T_{alr} : Temperatura de los alrededores. [K]

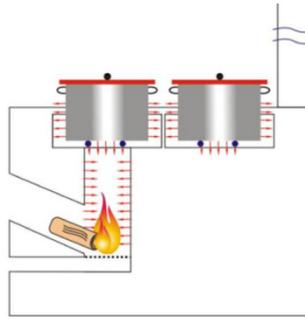


Figura 1.18. Transferencia de calor por radiación
Fuente: (Harold & Alvarez, 2011)

1.5 Análisis de productos en el mercado (Benchmarking)

Se realizará un análisis de productos similares que ya existen en el mercado con la finalidad de determinar las características más importantes de cada equipo, esto permitirá adaptar o mejorar dichas características para el diseño y la construcción de la cocina ecoeficiente. Para este análisis se ha seleccionado tres modelos de cocinas:

- Modelo CREP
- Modelo Practifogón
- Econcihor XT

1.5.1 Modelo 1: Modelo CREP de cocina ecológica portátil

La cocina ecológica rural portátil fabricado con material cerámico refractario es altamente resistente al fuego. La cocina ecológica está compuesta por una cámara de combustión de arcilla refractaria, chimenea de plancha galvanizada, dos rejillas de protección, una porta chimeneas y dos hornillas. Posee un consumo energético por litro de agua de 4.4 MJ/L y un tiempo de ebullición de 5 litros de agua en 32 min. El peso estimado de la cocina es de 23 kg. En la Tabla 1.4 se resumen sus características más relevantes.

Tabla 1.4. Características técnicas de la cocina CREP

Modelo 1: Cocina ecológica portátil		Imagen
Fabricante	Koyllor E.I.R. L	
Modelo	CREP	
Peso [kg]	43	
Dimensiones [cm]	80x35x230	
Cantidad de hornillas [u]	2	
combustible	Leña o bosta	
Precio [USD]	100	

(Fuente: (Endara, 2022))

1.5.2 Modelo 2: Modelo Practifogón.

La cocina ecológica modelo Practifogón es una cocina a leña cuya cámara de combustión y chimenea son construidas a través de planchas de acero negro y plancha galvanizada. Los accesorios que compone el modelo Practifogón son: 1 juego de anillos reductores para la hornilla y una malla de protección para la chimenea. Posee un consumo energético por litro de agua de 5.02 MJ/L y un tiempo de ebullición de 5 litros de agua en 22 min. La cocina ecológica garantiza el óptimo consumo de leña y un fácil mantenimiento. En la Tabla 1.5 se resumen sus características más relevantes.

Tabla 1.5. Características técnicas de la cocina Practifogón.

Modelo 2: Cocina ecológica portátil		Imagen
Fabricante	Cocinas mejoradas multiusos JCS	
Modelo	Practifogón	
Peso [kg]	44	
Dimensiones [cm]	55x70x75	
Cantidad de hornillas [u]	2	
Combustible	Leña	
Precio [USD]	105	

Fuente: (Endara, 2022)

1.5.3 Competencia 3: Modelo Ecocinhor XT

El modelo de cocina Ecocinhor XT es una cocina a leña que posee una cámara de combustión en forma rectangular, fabricada con ladrillo refractario altamente resistente al fuego. El siguiente modelo posee dos cámaras de combustión independientes, una de ellas es para el uso de tres hornillas mientras que la otra, tiene la función de brindar el calor necesario hacia el horno y las dos hornillas independientes que se encuentra por encima del horno. Las planchas de cocción son fabricados con planchas de acero negro y el horno con planchas de acero galvanizado. Las cámaras de combustión cuentan con respiraderos de aire para avivar el fuego y depósitos de ceniza para el mantenimiento de la cocina. En la Tabla 1.6 se resumen sus principales características.

Tabla 1.6. Características técnicas de la cocina Ecocinhor XT

Modelo 3: Cocina ecológica fija		Imagen
Fabricante	Cocinas mejoradas Strada	
Modelo	Ecocinhor XT	
Dimensiones [cm]	150x95x100	
Cantidad de hornillas [u]	5	
Combustible	Leña	
Precio [USD]	1200	

Fuente: (Endara, 2022)

2 METODOLOGÍA

El presente capítulo detalla el procedimiento de diseño de la cocina ecoeficiente construida en el sector de Amaguaña. En su dimensionamiento, se consideró su capacidad de cocer alimentos para una familia de 5 personas para lo cual es necesario cocinar tres recipientes de agua con una capacidad de 5 litros, en base a la transferencia de calor otorgada por la leña y tomando en cuenta las pérdidas por los diferentes elementos de ésta. Se consideraron tres zonas de análisis: la cámara de combustión, el canal de distribución de calor hacia el horno y hornillas, y la salida de los gases de combustión hacia la chimenea, tal como se muestra en la Figura 2.1. A continuación, se detalla cada una de las partes de la cocina ecoeficiente:

- **Zona 1:** Dentro de esta zona se encuentra la cámara de combustión y las hornillas de cocción. Para su dimensionamiento, se realizó un balance de energía y se consideraron el calor de combustión que genera la leña, el calor necesario para la cocción de alimentos, y las pérdidas de energía producidas durante el proceso.
- **Zona 2:** En esta zona se realizó el análisis de la implementación de un horno que permita aprovechar el flujo de calor útil proveniente de la zona 1, así como las pérdidas de calor que se generen durante el recorrido alrededor del horno.
- **Zona 3:** En esta zona se realizó el dimensionamiento del ducto de expulsión de los gases, producto de la combustión, considerando el tipo de material a utilizar y demás factores que permitieron realizar un correcto diseño para evitar cambios bruscos de temperatura y caída de presión que eviten el movimiento ascendente de los gases.

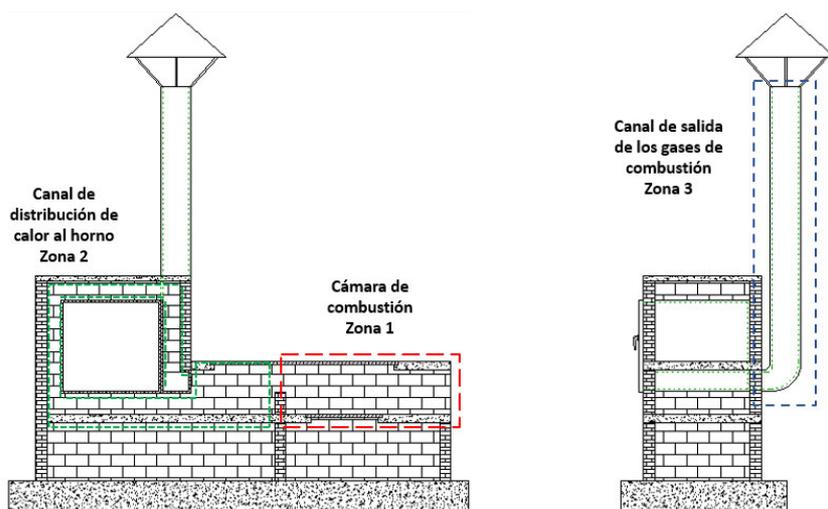


Figura 2.1. Partes de la cocina ecoeficiente a leña

Fuente: Propia

2.1 Determinación de requerimientos.

Como se ha mencionado con anterioridad, es importante la implementación de una cocina que cuente con características que permitan una reducción en el consumo de leña y que, al mismo tiempo, aproveche mejor el calor obtenido de la combustión, reduciendo la emisión de gases contaminantes. Las especificaciones técnicas necesarias para iniciar con el diseño de esta cocina se presentan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Especificaciones técnicas de la cocina ecoeficiente

Empresa: Grupo familiar sector Amaguaña	Producto: Estufa ecoeficiente a Leña	Fecha inicial: 14/2/2022	
		Última revisión:	
		Página 1/1	
Especificaciones			
Concepto	Propone	R/D	Detalle
Función	C	R	Capacidad para calentar tres ollas de 5 litros y un horno.
Dimensiones	I	D	1600x1400x600 [mm] (Largo, altura y fondo)
Energía	I	R	Uso de leña para el proceso de combustión.
Materiales	I	R	Estructura exterior e interior: Ladrillo refractario
	I	R	Horno: acero inoxidable
	I	R	Quemadores: Plancha de hierro fundido gris
	I	R	Puertas de registro: Plancha de acero ASTM A36
	I	R	Base de la cámara de combustión: Rejillas
Fabricación	I	R	Emplear materiales disponibles en el mercado
Vida útil y mantenimiento	I	R	2 años de funcionamiento
	C+I	R	Accesibilidad para realizar el mantenimiento de cavidades y ductos
Seguridad y ergonomía	C+I	R	Garantizar seguridad y confiabilidad durante el funcionamiento de la estufa.

Fuente (propia)

Propone: I= Ingeniería; C=Cliente R/D: R=Requerimientos; MR: Modificar requerimiento; NR= Nuevo requerimiento; D=Deseo.

Para cubrir estas necesidades se establecieron criterios que permitieron facilitar la elección de la mejor alternativa para el diseño y construcción de la cocina ecoeficiente.

Criterios como la facilidad de construcción, facilidad de limpieza, tipo de materiales, color, tamaño, entre otros, fueron tomados en cuenta. Sin embargo, se eligieron los más importantes como son el precio que el usuario estaría dispuesto a pagar con esta cocina, la eficiencia térmica, la posibilidad de transporte de la cocina, y el consumo de leña. La Tabla 2.1 muestra un resumen de las especificaciones técnicas requeridas para el diseño y la fabricación de la estufa ecológica.

2.1.1 Alternativas de solución

La evaluación y la selección de la mejor alternativa fue analizada de acuerdo con el Método ordinal corregido de criterio ponderado. Como opciones de diseño se plantearon dos tipos de cocinas, cuyas características, ventajas y desventajas se presentan en los apartados 2.2.1 y 2.2.2.

2.1.1.1 Alternativa 1: Cocina ecoeficiente móvil

Esta cocina presenta en su interior un diseño que permite la circulación del calor tanto por la superficie inferior de las hornillas como por el exterior del horno; para esto, se usa en su interior ladrillo refractario para reducir las pérdidas de calor hacia el ambiente. Para el exterior, se utiliza chapa metálica para cubrir el material refractario, el cual se coloca en una estructura con garruchas que permiten su traslado de un lugar a otro.

Con respecto a la cámara de combustión, ésta tiene tamaño reducido y contacto directo a las hornillas de la cocina; además, cuenta con cámaras que facilitan la recolección de las cenizas y el hollín que se producen en la combustión de la leña. La Figura 2.2 muestra un bosquejo de este modelo.

Ventajas

- Se puede transportar
- Disminuye el consumo de leña
- Evita el contacto de los gases de combustión con la persona que utiliza la cocina.
- Reduce la contaminación ambiental y previene daños en la salud de la persona que la utiliza.

Desventajas

- Es más costoso que una cocina fija.
- Posee una cámara de combustión de menor capacidad y tamaño de horno más pequeño.
- Mayor complejidad de construcción y montaje.

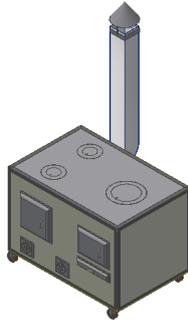


Figura 2.2. Modelo 1 de Cocina ecoeficiente transportable
(Fuente: propia)

2.1.1.2 Alternativa 2: Cocina ecoeficiente fija

Este modelo presenta algunas características que son similares a la cocina ecoeficiente portátil, como la implementación de un horno y tres hornillas de diferente tamaño, sin embargo, este cuenta con un ducto hecho con ladrillo cerámico, ubicado en la mitad de la cocina para asegurar que la superficie del horno, por la cual circula el calor, sea mayor.

Al ser fija, esta cocina está hecha, en su totalidad, de ladrillo para evitar las pérdidas de calor al ambiente. Por otro lado, con respecto a la distribución interna de la cocina, se diseña una cámara de combustión de mayor tamaño, permitiendo la implementación de un horno más grande para aprovechar mejor el calor generado para la preparación de los alimentos. Una característica más, que presenta esta cocina, es la presencia de una tapa en el canal de la chimenea, la cual permite regular el paso de los gases de combustión. La Figura 2.3 muestra un bosquejo de esta estufa.

Ventajas

- Posee Mayor estabilidad y espacio de cocina.
- El costo es menor.
- Mayor capacidad y tamaño de la cámara de combustión.
- Reducción de los gases nocivos, producto de la combustión.
- Menor riesgo de sufrir quemaduras.

Desventajas

- Debe colocarse en un lugar fijo.
- Dificultad para mantenimiento y limpieza de las superficies de flujo de calor.

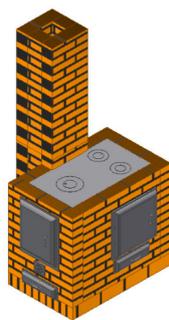


Figura 2.3. Modelo 2 de Cocina ecoeficiente fija

(Fuente: Propia)

2.1.2 Evaluación de las alternativas en función del orden de preferencia

De acuerdo con el orden de relevancia de cada uno de los criterios, establecidos por la Ecuación 2.1, se evaluó cada uno en función de las alternativas 1 y 2. Para estos fines, la Tabla 2.2 muestra la relevancia de cada uno de los criterios en función de los otros parámetros; la Tabla 2.3, la evaluación del peso específico del criterio eficiencia; la Tabla 2.4, la evaluación del peso específico del criterio precio; la Tabla 2.5, la evaluación del peso específico del criterio consumo de leña y la Tabla 2.6, la evaluación del peso específico del criterio transportabilidad. Además, la Tabla 2.7 muestra la evaluación final que permitió llegar a la decisión final acerca del tipo de cocina a ser usado. Por otro lado, se debe tener en cuenta que en cada caso la expresión *Alternativa 2 > Alternativa 1* es verdadera.

$$Eficiencia > Precio > consumo de leña > Transportabilidad.$$

Ecuación 2.1 Orden de relevancia de los criterios de evaluación

Tabla 2.2. Evaluación de criterios

CRITERIO	Eficiencia	Precio	Consumo de leña	Transportabilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Eficiencia		1	1	1	4	0.4
Precio	0		1	1	3	0.3
Consumo de leña	0	0		1	2	0.2
Transportabilidad	0	0	0		1	0.1
				Suma	10	1

(Fuente: Propia)

Tabla 2.3. Evaluación del criterio eficiencia

Eficiencia	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0.333
Alternativa 2	1		2	0.667
		SUMA	3	

(Fuente: Propia)

Tabla 2.4. Evaluación del criterio precio

Precio	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0.33
Alternativa 2	1		2	0.67
			Suma	3

(Fuente: Propia)

Tabla 2.5. Evaluación del criterio consumo de leña

Consumo de leña	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	1.5	0.50
Alternativa 2	0.5		1.5	0.50
			Suma	3

(Fuente: Propia)

Tabla 2.6 Evaluación de criterio de transportabilidad

Transportabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0.67
Alternativa 2	0		1	0.33
			Suma	3

(Fuente: Propia)

Tabla 2.7 Conclusión

Conclusión	Eficiencia	Precio	Consumo de leña	Transportabilidad	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0.13	0.10	0.10	0.07	0.40	2
Alternativa 2	0.27	0.20	0.10	0.03	0.60	1

(Fuente: Propia)

De acuerdo con el proceso de evaluación basado en el Método ordinal corregido de criterio ponderado, se concluye que la cocina ecoeficiente fija es la mejor opción.

2.2 Dimensionamiento de la cocina ecoeficiente

Una vez escogido el modelo más adecuado para el diseño de la estufa, se procedió a dimensionar las partes principales del modelo como se presenta a continuación.

2.2.1 Cámara de combustión

La cámara de combustión es aquel espacio donde se incineran las astillas de leña (pino y eucalipto). Para el dimensionamiento de su geometría, es necesario conocer los siguientes parámetros tales como:

Calor útil para la cocción de alimentos

Es la energía térmica necesaria para satisfacer una demanda, que, en este caso de estudio, consideró el calor para calentar tres recipientes de agua, cuya capacidad fueron de 5 litros, y la energía necesaria para hornear una porción de carne, de acuerdo con la Ecuación 2.2. Por otro lado, la Ecuación 2.3 representa el calor necesario para calentar el agua mientras que la Ecuación 2.4, la carne de cualquier animal.

$$\dot{Q}_{util} = \dot{Q}_{calentar\ H_2O} + \dot{Q}_{hornear\ carne}$$

Ecuación 2.2. Calor útil

$$\dot{Q}_{calentar\ H_2O} = \frac{m_{H_2O} * Cp_{H_2O} * (T_{ebullición} - T_{amb})}{t}$$

Ecuación 2.3. Calor necesario para calentar agua

$$\dot{Q}_{hornear\ cerdo} = \frac{m_{cerdo} * Cp_{cerdo} * (T_{cocción\ cerdo} - T_{amb})}{t}$$

Ecuación 2.4. Calor necesario para hornear una porción de carne.

Donde:

\dot{Q}_{util} : Calor aprovechado para la cocción de alimentos.

$\dot{Q}_{calentar\ H_2O}$: Calor requerido para calentar agua [W].

$\dot{Q}_{hornear\ carne}$: Calor requerido para hornear una porción de carne [W].

m_{H_2O} : Masa de agua [kg].

Cp_{H_2O} : Calor específico del agua a presión constante $\left[\frac{kJ}{kg * ^\circ C} \right]$.

$T_{ebullición}$: Temperatura de ebullición del agua [$^\circ C$].

T_{amb} : Temperatura ambiente del medio [$^\circ C$].

m_{cerdo} : Masa de carne de cerdo [kg].

Cp_{cerdo} : Calor específico de la carne de cerdo $\left[\frac{kJ}{kg * ^\circ C} \right]$.

$T_{cocción\ cerdo}$: Temperatura de ebullición del agua [$^\circ C$].

T_{amb} : Temperatura ambiente del medio [$^\circ C$].

t : Tiempo de cocción [s].

Calor de entrada suministrado por la combustión de la leña

Es el calor generado en la cámara de combustión cuando, la madera se combustiona, se calcula como el producto entre el flujo másico del combustible y la cantidad de energía que entrega un kilogramo de leña al oxidarse; para ello, se utiliza la Ecuación 2.5.

$$\dot{Q}_{comb. leña} = \dot{m}_{leña} * PCi$$

Ecuación 2.5. Calor de entrada de la cámara de combustión

Donde:

$\dot{Q}_{comb. leña}$: Calor suministrado por la combustión de la leña [W].

$\dot{m}_{leña}$: Flujo masico del combustible $\left[\frac{kg}{s}\right]$.

PCi : Poder calorífico inferior de la leña $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$.

El flujo masico de combustible, es decir la masa de leña que debe suministrarse en la cámara de combustión durante el periodo de combustión se puede obtener a partir de la Ecuación 2.6.

$$\dot{m}_{leña} = \frac{m_{leña}}{t_{combustion}}$$

Ecuación 2.6. Flujo másico de la leña

Donde:

$m_{leña}$: Masa de leña consumida [kg]

$t_{combustion}$: Tiempo de combustión de la leña [s]

Poder calorífico inferior de la leña y factor de conversión de la masa de combustible

Es la cantidad mínima de energía, por unidad de masa o volumen, que se aprovecha durante el proceso de combustión, ya que excluye el calor latente del vapor de agua generado en la combustión. Según (Pankrátov, 1987) el poder calorífico inferior (kJ/kg), para un combustible sólido o líquido, de acuerdo con el porcentaje de masa aprovechable del combustible, se calcula de acuerdo con la Ecuación 2.7.

$$PCi = 338 * C^a + 1025 * H^a - 108.5 * (O^a - S^a) - 25W^a$$

Ecuación 2.7. Poder calorífero inferior de la leña

Donde:

PCi : Poder calorífico inferior del combustible $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

C^a : Porcentaje de masa aprovechable de carbono.

H^a : Porcentaje de masa aprovechable de hidrogeno.

O^a : Porcentaje de masa aprovechable de oxígeno.

S^a : Porcentaje de masa aprovechable de azufre.

W^a : Porcentaje de humedad del combustible

Por otro lado, para estimar el valor porcentual de masa aprovechable de la leña se utilizaron factores de conversión, los cuales expresan el valor de masa de combustible suministrado en masa aprovechable o seca acorde al contenido de humedad y ceniza del combustible. Para este caso de estudio, se utilizó el factor de conversión de masa de combustible seca a masa aprovechable (Pankrátov, 1987); dichos factores de conversión se presentan en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Factor de conversión de masa suministrada a masa aprovechable

Masa de combustible suministrada	Factor de conversión a masa		
	Aprovechable	Combustible	Seca
Aprovechable	1	$\frac{100}{100 - (A^S + W^A)}$	$\frac{100}{100 - W^A}$
Combustible	$\frac{100 - (A^S + W^A)}{100}$	1	$\frac{100 - A^S}{100}$
Seca	$\frac{1300 - W^A}{100}$	$\frac{100}{100 - A^S}$	1

(Fuente: (Pankrátov, 1987))

Adicionalmente, para estimar el valor de la relación másica de combustión entre el aire y el combustible, fue de suma importancia conocer la ecuación de la combustión y el contenido porcentual en masa de la leña. Para ello, según Borja Velázquez & Gaibor Chávez (2019) y Nutsch (1996), la composición másica de la madera de eucalipto se presenta en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9 Composición química de la madera de eucalipto y pino

Composición química	Porcentaje en masa Eucalipto	Porcentaje en masa Pino
Carbono C	50%	51.6%
Hidrogeno H	6%	6.2%
Oxigeno O	41%	41.7%
Nitrógeno N	1%	0.05%
Azufre S	0%	0.4%
A(ceniza)	2%	1%

(Fuente: (Chiliquinga Cando & Jiménez León, 2015))

Flujo másico de combustible

Se define como la relación de la masa de leña que se consume en un determinado periodo de tiempo. Para obtener este valor, es necesario conocer la eficiencia térmica de la estufa ecológica mediante la Ecuación 2.8. Debido a que inicialmente se desconoce la eficiencia real de la estufa, se considera una eficiencia térmica del 30% para todos los cálculos de diseño. Posteriormente, en el capítulo de resultados se evalúa la eficiencia de la cocina ecoeficiente construida y en funcionamiento.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{calentar H_2O} + \dot{Q}_{hornear carne}}{\dot{Q}_{comb}}$$

Ecuación 2.8. Eficiencia térmica de la cocina ecológica

Donde:

η : Eficiencia térmica de la cocina.

Por otro lado, para determinar el flujo másico de combustible de la leña, se reemplazó la Ecuación 2.5 en la Ecuación 2.8 Ecuación 2., obteniendo así la Ecuación 2.9.

$$\dot{m}_{leña} = \frac{\dot{Q}_{calentar H_2O} + \dot{Q}_{hornear carne}}{\eta * PCI}$$

Ecuación 2.9. Flujo másico de leña

Volumen mínimo de la cámara de combustión

Por otro lado, se determinó el volumen mínimo de la cámara de combustión, el cual indica la cantidad de leña que se alimenta en la cámara de combustión en un periodo de tiempo. Para estos fines, la Ecuación 2.10 permite relacionar este volumen con la masa de leña necesaria por unidad de tiempo.

$$V_{leña} = \frac{m_{leña}}{\rho_{leña}}$$

Ecuación 2.10. Volumen de la leña

Donde:

$V_{leña}$: Volumen mínimo de leña a suministrarse en la cámara de combustión [m^3]

$m_{leña}$: Masa de leña

$\rho_{leña}$: Densidad de la leña [$\frac{kg}{m^3}$]

Finalmente, una vez determinado el volumen mínimo de leña que se debe cargar en la cámara de combustión, se definió la geometría de la cámara de combustión como un paralelepípedo rectangular, como se muestra en la Figura 2.4.

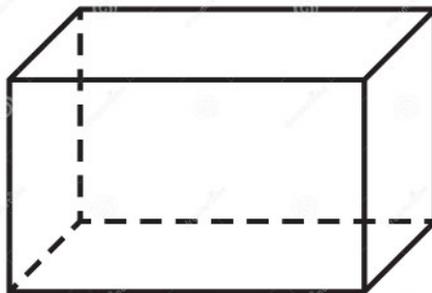


Figura 2.4. Geometría de la cámara de combustión

(Fuente: propia)

Recomendaciones utilizadas en el dimensionamiento de la cámara de combustión

- Cuanto más elevada es la densidad de la madera, el tiempo de ignición es mucho mayor, ocasionado que la velocidad de carbonización sea lenta. Por otro lado, si la densidad de la madera es baja, se necesita que el volumen sea mucho mayor, pues se requiere que la alimentación del biocombustible ocurra con mayor frecuencia debido a que el tiempo de ignición de la madera es mucho mayor, al igual que su velocidad (Alvarez & Harold, 2011).
- Según (Alvarez & Harold, 2011), es recomendable que la altura entre la base de la cámara de combustión y la superficie de contacto inferior de la olla esté entre 200 a 300 [mm], ya que, con esto, se garantiza que los gases de combustión tengan el tiempo suficiente para mezclarse con el aire, evitando así que incrementen las emisiones de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos.
- Las paredes de la cámara de combustión deben ser construidas con materiales que trabajen a altas temperaturas y posean un bajo coeficiente de conductividad térmica, como los ladrillos refractarios, esto se realiza con la finalidad de disminuir las pérdidas de calor a través de las paredes internas.

Dimensionamiento del ducto de la chimenea

La chimenea tiene como función, fomentar el tiro de los gases de combustión, es decir permite la salida de los gases calientes producidos en la cámara de combustión hacia el medio externo.

Para determinar diámetro del ducto, según (Anónimo, 2020) y (Ruano, 2020), el área superficial del ducto no debe ser menor al 10% del área superficial a la entrada de la

cámara de combustión. La Ecuación 2.11 permite hallar el valor del radio del ducto de la chimenea (r) en función de la altura de la cavidad de la puerta de la cámara de combustión (H) y su ancho (A).

$$r = \sqrt{\frac{(H * A) * 0.10}{\pi}}$$

Ecuación 2.11. Radio del ducto circular de la chimenea

2.2.2 Tiro natural

Es el movimiento de los gases de combustión hacia el ducto de la chimenea generado por el fuego, ya que, al aumentar la temperatura de dichos gases, su peso específico tiende a disminuir, ocasionado así que los gases de combustión tiendan a ascender. También, es conocido como una depresión térmica que se origina en la base de chimenea, debido a la diferencia de presiones entre los gases de combustión y la columna de aire en el interior del ducto de la chimenea. La Figura 2.5 muestra un esquema de cómo funciona el tiro natural (Climatización Alcazar, 2018).



Figura 2.5. Tiro natural de gases de combustión
(Fuente: Climatización Alcazar, 2018)

El dimensionamiento de la longitud del ducto de la chimenea se lo realizó a partir de las dimensiones de la altura de la habitación en el cual se situó la cocina ecoeficiente, cuya altura desde la base (piso) hasta la cumbre del techo ($B+L$), es de aproximadamente 2.8 metros es decir la suma entre los parámetros “B” y “L” como se puede observar en la Figura 2.6. Además, Para estimar el valor de la longitud del ducto de la chimenea, se aplica la Ecuación 2.12.

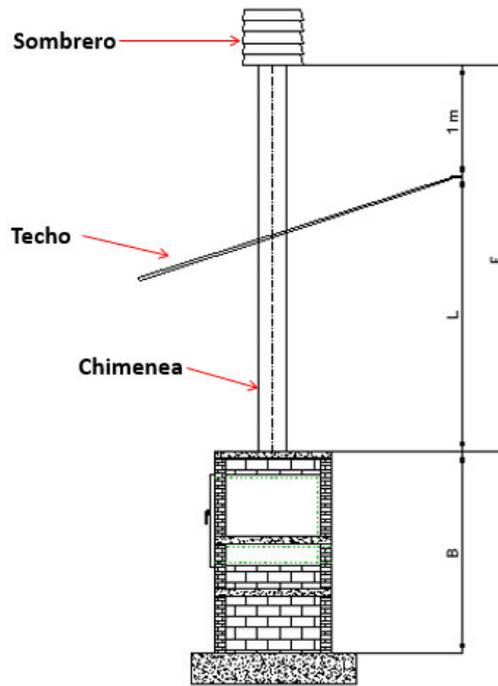


Figura 2.6. Dimensionamiento del ducto circular de la chimenea

(Fuente: Propia)

$$F = 2.8 [m] - B + 1 [m]$$

Ecuación 2.12. Altura de la Chimenea

Donde:

F: Altura de la chimenea [m]

B: Altura de la cocina [m]

Según (Cocinas ecologicas Amesti, 2017), es recomendable aumentar la longitud del ducto de la chimenea a una distancia mayor a 1 metro; ya que, con ello, se logra evitar turbulencia en la boca superior externa de la chimenea y que el tiro de los gases de combustión retorne hacia el interior de la habitación. Por otra parte, según (Alvarez & Harold, 2011), existe otro método para estimar la altura de la chimenea de acuerdo con la Ecuación 2.13.

$$20 * \phi_{chim} \leq H_{chim} \leq 25 * \phi_{chim}$$

Ecuación 2.13. Relación de dimensionamiento de altura

Donde:

ϕ_{chim} : Diámetro de la chimenea [m]

2.2.3 Recomendaciones para el dimensionamiento del ducto de la chimenea

Para el diseño y fabricación de ducto de la chimenea, se tomó en cuenta las siguientes consideraciones hechas por (Amesti, 2016):

1. Es recomendable que el ducto de la chimenea sea lo más directo y vertical posible, ya que al aumentar accesorios de desvío (codos de 90°), el tiro tiende a disminuir o incluso puede anularse. Esta situación puede observarse en la Figura 2.7.

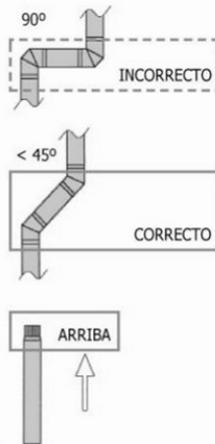


Figura 2.7. direccionamiento del ducto de la chimenea.

(Fuente: Amesti, 2016)

2. Una altura de diseño inadecuada puede ocasionar flujos turbulentos en la parte superior de la chimenea (gorro), causando así que tienda a aumentar la presión y los gases de combustión se regresen nuevamente hacia el ducto. Es por ello, que para la instalación de los conductos de humo la altura respecto a los obstáculos debe ser mayor a 1 metro, según la Ecuación 2.9. Esta condición se puede visualizar en la Figura 2.8.

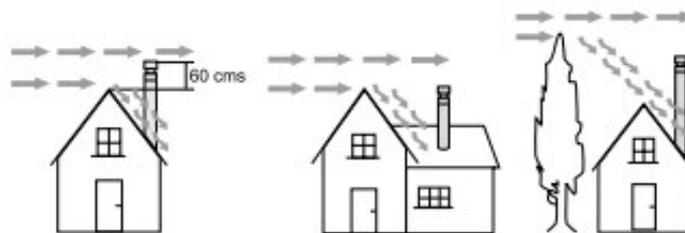


Figura 2.8. Altura respecto a los obstáculos

(Fuente: Amesti, 2016)

3. Por otro lado, se debe procurar no utilizar sombreros convencionales en la parte superior de la chimenea, ya que pueden ocasionar un tiro negativo hacia el interior de la cocina debido a las variaciones de velocidad del viento en la boca externa, que estos puedan generar como se muestra en la Figura 2.9.

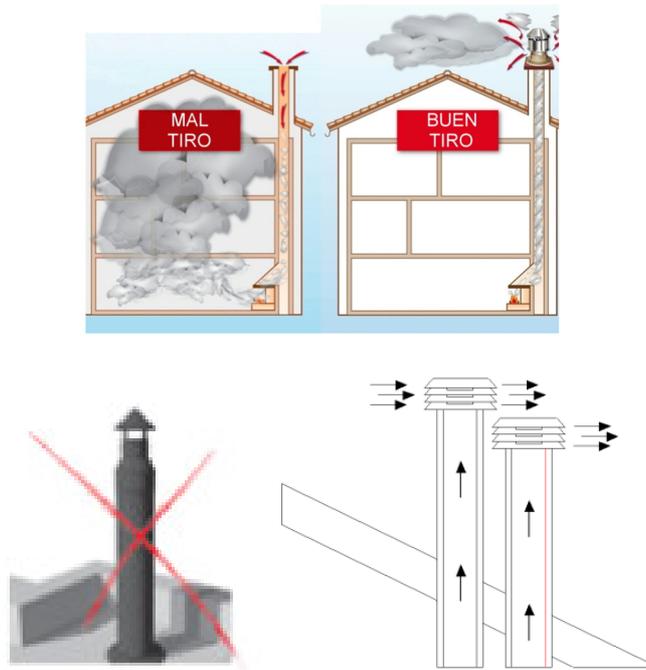


Figura 2.9. Incorporación de un sombrero en la boca externa de la chimenea
(Fuente: Climatización Alcázar, 2018)

2.2.4 Pérdida de calor sensible por inquemados y los gases de combustión

Los inquemados se generan como producto de la combustión incompleta del carbón y se presentan como materia combustible que no se ha quemado o se ha quemado parcialmente, como es el caso de la ceniza. Las pérdidas de calor producidas éstas se calculan de acuerdo con la Ecuación 2.14.

$$\dot{Q}_{Ceniza} = \dot{m}_{ceniza} * PCi$$

Ecuación 2.14. Pérdidas de calor por la ceniza

Donde:

\dot{Q}_{Ceniza} : Pérdida de calor producto de inquemados (ceniza) [W]

\dot{m}_{ceniza} : Flujo másico de ceniza producto de la combustión $\left[\frac{kg}{s}\right]$

PCi : Poder calorífico inferior del combustible $\left[\frac{KJ}{Kg}\right]$

El flujo másico de ceniza se obtiene a partir de la Ecuación 2.15.

$$\dot{m}_{ceniza} = \frac{m_{ceniza}}{t_{combustión}}$$

Ecuación 2.15. flujo másico de la ceniza

Donde:

m_{ceniza} : Masa de ceniza producido durante combustión de la leña [kg]

$t_{combustión}$: Tiempo de combustión de la leña [s]

Por otro lado, para estimar la pérdida de calor entre los gases de combustión y el ducto de la chimenea, se puede aplicar la Ecuación 2.16, que es el producto entre flujo másico de combustible, el calor específico de los gases de combustión y su variación de temperatura entre la entrada y la salida del ducto de la chimenea, como se muestra en la Figura 2.10.

$$\dot{Q}_{p,gases\ de\ combustión} = \dot{m}_{gases} * C_{p,gas} * T_g$$

Ecuación 2.16. Pérdidas de calor debido a los gases de combustión

Donde:

\dot{m}_{gases} : Flujo masico de los gases de combustión $\left[\frac{Kg}{s}\right]$

$C_{p,gas}$: Calor especifico de los gases de combustión $\left[\frac{KJ}{Kg * C^{\circ}}\right]$

T_g : Temperatura máxima de los gases de combustión a través del ducto de la chimenea.

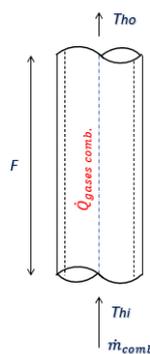


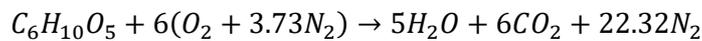
Figura 2.10. Modelo de transferencia de calor de los gases de combustión a través del ducto de la chimenea
(Fuente: Propia)

2.2.5 Relación de aire-combustible

Para determinar el flujo masico de los gases de combustión, es necesario conocer el parámetro de relación aire – combustible (A/C). De acuerdo con (Cengel & Boles, 2015) se determina a partir de la Ecuación 2.17, esta representa la cantidad de aire que se utiliza por unidad de masa de combustible durante un proceso de combustión el cual se obtiene a partir de la reacción de combustión completa representada por la Ecuación 2.18.

$$AC = \frac{\text{Masa de aire}}{\text{Masa de combustible}} = \frac{M_{aire} * (N_{aire})}{M_{combustible} * (N_{combustible})}$$

Ecuación 2.17. Relación aire combustible



Ecuación 2.18. Combustión Completa

Donde:

AC: Relación de aire-combustible

M_{aire} : Masa molar del aire

N_{aire} : Numero de moles del aire

$M_{combustible}$: Masa molar del combustible

$N_{combustible}$: Numero de moles del combustible

Flujo másico de los gases de los gases de combustión

El flujo masico de los gases de combustión se obtiene a partir del producto de la suma entre el flujo de aire y el flujo masico de combustible que ingresa a la cámara de combustión de acuerdo con la Ecuación 2.19 y Ecuación 2.20.

$$\dot{m}_{aire} = AC * \dot{m}_{leña}$$

Ecuación 2.19. Flujo másico del aire

$$\dot{m}_{gases\ combustión} = \dot{m}_{aire} + \dot{m}_{comb}$$

Ecuación 2.20. Flujo másico de los gases de combustión

2.2.6 Calor por pérdidas totales

Son las pérdidas de calor totales que se producirán en la cámara de combustión tanto interna como externa por efectos de conducción, convección y radiación. Estas pérdidas de calor, de acuerdo con la Ecuación 2.21, se calculan de la siguiente manera:

$$\dot{Q}_{p\acute{e}rdidas} = \dot{Q}_{PP} + \dot{Q}_{p,gases\ de\ combustión} + \dot{Q}_{p, ceniza}$$

Ecuación 2.21. Pérdidas de calor totales

Donde:

\dot{Q}_{PP} : El calor perdido hacia las paredes de la cámara de combustión [W].

$\dot{Q}_{p,gases\ de\ combustión}$: El calor perdido a través de los gases de combustión hacia los ductos de la chimenea [W].

$\dot{Q}_{p, ceniza}$: El calor perdido por inquemados (ceniza) producto de la combustión de leña [W].

Por otro lado, para dimensionar el espesor del ladrillo (L), teniendo en cuenta las pérdidas de calor, se utiliza la Ecuación 2.22.

$$L = \frac{K_{ladrillo} * A * (T_{s1} - T_{s2})}{\dot{Q}_{comb.\ leña} - \dot{Q}_{\acute{u}til} - \dot{Q}_{p,gases\ de\ combustión}}$$

Ecuación 2.22. Espesor del ladrillo

Donde:

L: Espesor del ladrillo [m]

K: Conductividad térmica del ladrillo $\left[\frac{W}{m^{\circ}C}\right]$

A: Área superficial de la pared del ladrillo [m^2]

T_{s1} : Temperatura superficial interna de la pared de ladrillo refractario [$^{\circ}C$].

T_{s2} : Temperatura superficial externa de la pared de ladrillo refractario [$^{\circ}C$].

2.2.7 Dimensionamiento general de la cocina ecológica

En la Figura 2.11 se muestra las dimensiones necesarias para la construcción de la cocina. Cada una se estableció de acuerdo con la normativa vigente y conforme con las especificaciones de diseño necesarias para el correcto funcionamiento de la cocina.

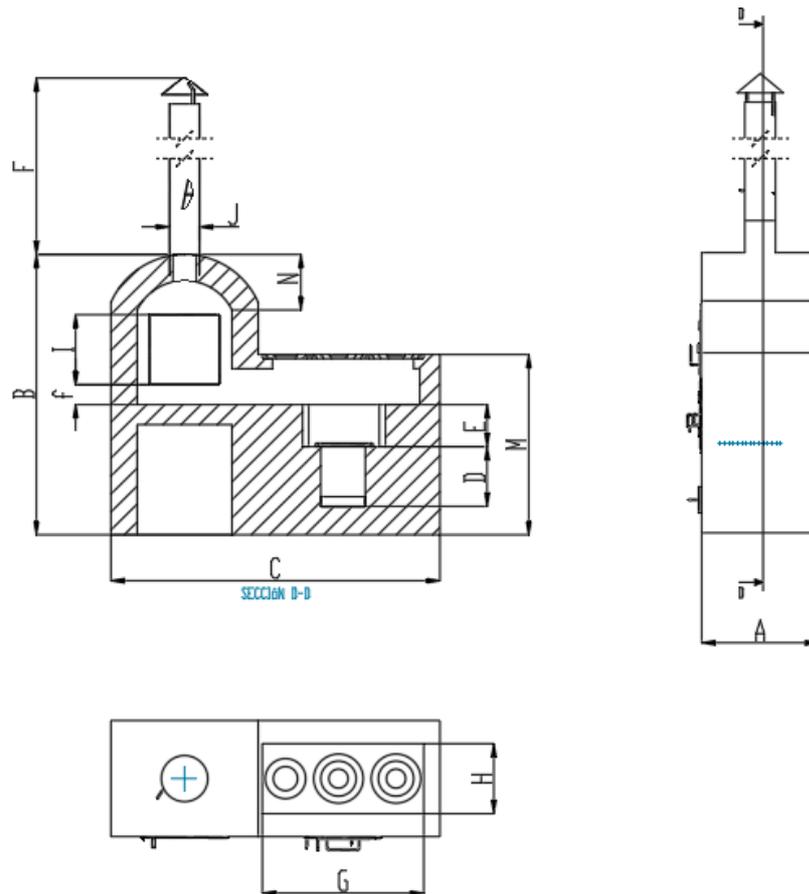


Figura 2.11. Dimensionamiento de la cocina ecoeficiente

Fuente: Propia

Donde:

A: Ancho de la cocina [mm].

B: Altura de la cocina [mm].

C: Longitud total de la cocina [mm].

D: Altura de la cámara de cenizas [mm].

E: Altura de la cámara de combustión [mm].

F: Altura de la chimenea [mm].

G: Largo de la plancha metálica [mm].

H: Ancho de la plancha metálica [mm].

I: Longitud del horno [mm].

J: Diámetro del ducto de la chimenea [mm].

M: Altura de ubicación de hornillas [mm].

N: Altura desde la base hasta la cúpula [mm].

f: Canal de circulación de gases de combustión alrededor del horno [mm].

Para determinar H y G, fue necesario conocer las medidas de las planchas existentes en el mercado. Para esto, se realizó la Tabla 2.10, la cual permite comparar las planchas ofrecidas por Fundación Lujan, Marec y Construcciones Liam.

Tabla 2.10. Placas de hornillas existentes en el mercado

Placas de hornillas existentes en el mercado			
Proveedor	Medidas [cm]	Características	Imagen referencial
Fundación Lujan	Bajo pedido	- 2, 3 y 4 hornillas según tamaño - Hierro fundido	
Marec	80x35x3 125x49x3	- Material: Hierro fundido - 3 hornillas	
Construcciones Liam	127x47x1.8 80.5x35x1.8	- Material: Hierro fundido - 3 hornillas	

(Fuente: Propia)

En primer lugar, para definir el ancho (A) de la cocina ecoeficiente, se tomó en cuenta el ancho de la plancha metálica (H) y la longitud ocupada por el ladrillo (x). De esta forma, para calcular “A” se utiliza la Ecuación 2.23.

$$A = H + 2x$$

Ecuación 2.23. Ancho de la cocina

Posteriormente, para definir la altura de ubicación de las hornillas desde la superficie base (M), se consideró lo establecido en (la norma GP-19 INEN), la cual plantea que una medida adecuada para la construcción de una cocina es 90 cm. Dentro de esta altura, se distribuyó la altura de la cámara de combustión (E) y de la cámara de cenizas (D). Entonces, la altura total de la cocina (B), que incluye el horno se calcula según la Ecuación 2.24.

$$B = D + E + I + 2x + 2f + N$$

Ecuación 2.24. Altura total de la cocina

Donde:

x: Espesor del ladrillo [cm]

La altura de la cámara de cenizas “D”, por condiciones de diseño establecidas, es la misma que tiene la cámara de almacenamiento de leña. Las dimensiones del horno se seleccionaron en base a otros modelos de estufas ecoeficientes, presentes en el mercado; en este caso, se eligió una con las siguientes dimensiones 350 x 350 x 400 [mm] (Amesti, 2016). De tal manera que en la Ecuación 2.25, utilizada para calcular el largo de la cocina, es 350 [mm].

$$C = G + l + 2f + 4x$$

Ecuación 2.25. Largo de la cocina

Donde:

C : Longitud total de la cocina [cm]

Calor perdido por las paredes

El siguiente procedimiento de cálculo debe aplicarse una vez que la estufa ecoeficiente se construya, con la finalidad de comparar los valores teóricos y los valores experimentales. De esta forma, el calor perdido por conducción a través de las paredes de ladrillo se determina mediante la Ecuación 2.26.

$$\dot{Q}_{pp} = U * A_{total} * (T_{s1} - T_{\infty 2})$$

Ecuación 2.26. Perdidas de calor a través de las paredes del ladrillo

Donde:

\dot{Q}_{pp} : El calor perdido hacia las paredes de la cámara de combustión [W].

U : coeficiente global de transferencia de calor $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$

A_{total} : Área superficial total de las paredes del ladrillo refractario [m^2]

T_{s1} : Temperatura superficial interna de la pared de ladrillo refractario [$^\circ C$].

$T_{\infty 2}$: Temperatura del medio externo (aire) [$^\circ C$]

También, para estimar el calor perdido por las paredes de la cámara de combustión, se realizó un análisis unidimensional por conducción en paredes planas y en estado estable por medio de la metodología de la resistencia térmica. Para simplificar la geometría de análisis de la cámara combustión, el volumen total de la estufa se modeló de forma tridimensional en forma de “L”, tal como se muestra en la Figura 2.12.

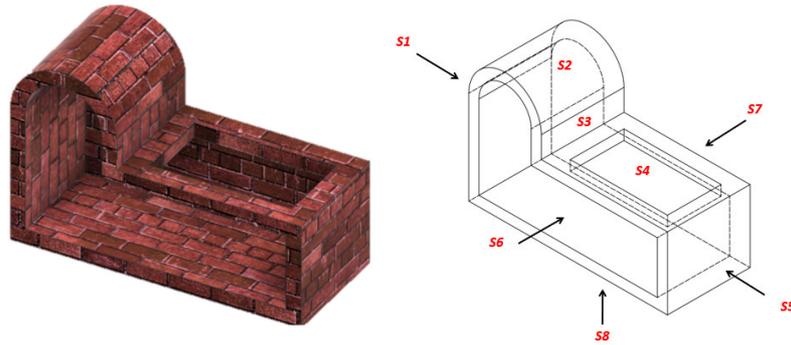


Figura 2.12. Superficie de las paredes de la cámara de combustión

(Fuente: Propia)

Donde:

S1: Superficie lateral izquierda de la pared del horno [m^2].

S2: Superficie superior de la pared del horno [m^2].

S3: Superficie lateral derecha de la pared del horno [m^2].

S4: Superficie superior de la cámara de combustión (Zona de transferencia de calor entre el fuego y las hornillas) [m^2].

S5: Superficie lateral derecha de la cámara de combustión (Zona de suministro de leña) [m^2].

S6: Superficie frontal de la cámara de combustión [m^2].

S7: Superficie posterior de la cámara de combustión [m^2].

S8: Superficie inferior de la cámara de combustión [m^2].

Una vez detalladas las superficies de estudio en las paredes, se procedió a realizar el análisis térmico, teniendo en cuenta la resistencia térmica de conducción del ladrillo ($R_{cond. pared}$), la resistencia térmica de convección ($R_{conv.}$) y la resistencia térmica radiación ($R_{rad.}$). La Figura 2.13 muestra el circuito térmico que caracterizó este fenómeno.

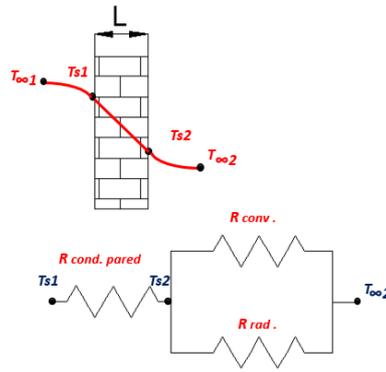


Figura 2.13. Circuito térmico de la pared del ladrillo refractario
(Fuente: Propia)

Donde:

$T_{\infty 1}$: Temperatura del flujo interno en la cámara de combustión [°C].

T_{s1} : Temperatura superficial interna de la pared de ladrillo refractario [°C].

T_{s2} : Temperatura superficial externa de la pared de ladrillo refractario [°C].

$T_{\infty 2}$: Temperatura del medio externo (aire) [°C]

$R_{cond. pared}$: Resistencia térmica por conducción (pared de ladrillo refractario) $\left[\frac{^{\circ}C}{W}\right]$.

$R_{conv.}$: Resistencia térmica por convección en el medio externo $\left[\frac{^{\circ}C}{W}\right]$

$R_{rad.}$: Resistencia térmica por radiación en el medio externo $\left[\frac{^{\circ}C}{W}\right]$.

La resistencia térmica por conducción en la pared plana de ladrillo refractario se calculó a partir de la relación entre el espesor del ladrillo y la conductividad térmica del mismo, de acuerdo con la Ecuación 2.27.

$$R_{cond. pared} = \frac{L}{K}$$

Ecuación 2.27. Resistencia térmica de conducción por el ladrillo

Donde:

$R_{1 cond. pared}$: Resistencia térmica por conducción (pared de ladrillo refractario) $\left[\frac{^{\circ}C}{W}\right]$

L : Espesor de la pared de ladrillo [m]

K : Conductividad térmica del ladrillo $\left[\frac{W}{m^{\circ}C}\right]$

2.2.8 Ladrillos

Debido a que la demanda de eficiencia requiere que las pérdidas de calor se minimicen; por esta razón, fue necesario escoger un material de baja conductividad térmica, como es caso del ladrillo. Por lo general, el coeficiente de conductividad térmica de un ladrillo refractario oscila entre 0.13 y 1.2 $[\frac{W}{m \cdot K}]$, dependiendo del material con el cual el ladrillo fue fabricado y la temperatura a la cual se iba a trabajar. Para la selección del ladrillo, se realizó un análisis de las dimensiones y las propiedades de los ladrillos existentes en el mercado como se muestra en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11 Ladrillos refractarios existentes en el mercado

Ladrillos refractarios existentes en el mercado			
Proveedor	Medidas [cm]	Temperatura de trabajo [°C]	Imagen referencial
Samoh Thermal	23x11.5x6.3 23x11.5x7.2	1400	
Marec	10x20x6	900 1500	
Prenac	10x20x2.5 10x20x6	600 900 1200	

(Fuente: Propia)

2.2.8.1 Coeficiente de transferencia de calor por convección

La resistencia térmica por convección con el medio externo se calculó con la Ecuación 2.28, basándose en la ley de enfriamiento de Newton.

$$R_{conv.} = \frac{1}{h_{conv.}}$$

Ecuación 2.28. Resistencia térmica de convección

Donde:

$R_{conv.2}$: Resistencia térmica por convección en el medio externo $[\frac{^{\circ}C}{W}]$

$h_{conv.}$: Coeficiente de transferencia de calor por convección $[\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}]$

Por otro lado, el coeficiente de convección ($h_{conv.}$) en el medio exterior de las paredes de la cocina ecológica se modeló por el método por convección natural, debido a que la velocidad del fluido exterior (aire) es relativamente baja, es decir, el movimiento del fluido ocurre por medios naturales tales como la flotabilidad (Çengel & Ghajar, 2011) y se calcula según la Ecuación 2.29.

$$h_{conv.} = \frac{\overline{Nu}_L * K}{L_C}$$

Ecuación 2.29. Coeficiente de convección

Donde:

\overline{Nu}_L : número de Nusselt

K : Conductividad térmica del medio externo (aire) $\left[\frac{W}{m^{\circ}C}\right]$

L_C : Longitud característica de la pared plana (altura) [m]

El número de Nusselt (\overline{Nu}_L) es una cantidad adimensional que se expresa en términos de otro número dimensional y dos números adimensionales, conocidos como la temperatura de película, el número de Prandtl y el número de Rayleigh, respectivamente.

2.2.8.2 Temperatura de película

La temperatura de película es una aproximación de la temperatura de un fluido dentro del rango de la capa límite de convección. Se utiliza para conocer de las propiedades termo físicas del flujo libre (aire) alrededor de las paredes externas de la cocina ecoeficiente. La temperatura de película se calcula como media aritmética entre la temperatura superficial de la pared externa de la cocina y temperatura ambiente tal como se muestra en la Ecuación 2.30. Las propiedades termo físicas del aire se encuentran detalladas en el anexo I.

$$T_f = \frac{T_{s2} + T_{\infty 2}}{2}$$

Ecuación 2.30 Temperatura de película

Donde:

T_{s2} : Temperatura superficial externa de la pared de ladrillo refractario [°C].

$T_{\infty 2}$: Temperatura del medio externo (aire) [°C]

Una vez obtenido el valor de la temperatura de película, se identificaron las propiedades termo físicas del fluido como la viscosidad cinemática, conductividad térmica, calor específico y el número de Prandtl. Estos valores se pueden observar en el Anexo 1.

2.2.8.3 Número de Grashof y número de Prandtl

El número de Grashof es una cantidad adimensional que define la razón entre fuerzas de flotación con respecto a las fuerzas viscosas que actúa sobre un fluido. Para determinar el número de Grashof se utiliza la Ecuación 2.31.

$$Gr_L = \frac{g * \beta * (T_s - T_\infty) * L^3}{\nu^2}$$

Ecuación 2.31. Número de Grashof

Donde:

Gr_L : número de Grashof

g : Gravedad $9.8 \left[\frac{m}{s^2} \right]$.

β : coeficiente de expansión volumétrica $\left[\frac{1}{^\circ C} \right]$.

T_s : temperatura de la superficie externa $[^\circ C]$.

T_∞ : Temperatura del medio externo (aire) $[^\circ C]$.

L : Longitud característica de la configuración geométrica (altura de la pared) $[m]$.

ν : viscosidad cinemática del fluido $\left[\frac{m^2}{s} \right]$

Por otro lado, el número de Prandtl es una cantidad adimensional que relaciona la viscosidad cinemática del fluido con respecto a su difusividad térmica, es decir relaciona la distribución de velocidad y la temperatura. Como se mencionó anteriormente, dicho valor se lo encuentra tabulado en las propiedades termo físicas de los gases y se calcula a partir de la Ecuación 2.32.

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$$

Ecuación 2.32 Número de Prandtl

Donde:

Pr : número de prandtl.

ν : viscosidad cinemática del fluido $\left[\frac{m^2}{s} \right]$.

α : difusividad térmica $\left[\frac{m^2}{s}\right]$.

2.2.8.4 Número Nusselt

Es un número adimensional que relaciona la transferencia de calor por convección a conducción en una superficie. La metodología de cálculo para determinar el número de Nusselt varía en función del tipo de flujo que se analiza, es decir si es laminar o turbulento.

Para poder calcular el número de Nusselt, se necesita conocer el número de Rayleigh, cuyo valor es un número adimensional y se define como el producto entre el número de Grashof y Prandtl tal como se expresa en la Ecuación 2.33.

$$Ra_L = Gr_L * Pr$$

Ecuación 2.33. Número de Rayleigh

Donde:

Ra_L : número de Rayleigh

Gr_L : número de Grashof

Pr : número de Prandtl

Entonces, si $Ra_L \leq 10^9$, se considera que el comportamiento del fluido es laminar; así el número de Nusselt en base a la ecuación Churchill y Chu, puede calcularse con la Ecuación 2.34.

$$\overline{Nu}_L = 0,68 + \frac{0,670 * Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

Ecuación 2.34. Número de Nusselt para flujo laminar según Churchill y Chu

Por otro lado, si $Ra_L > 10^9$, se considera que el comportamiento del fluido es turbulento; así, el número de Nusselt se calcula en base a la ecuación de Churchill y Chu de acuerdo con la Ecuación 2.35.

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 * Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

Ecuación 2.35. Número de Nusselt para flujo turbulento de acuerdo con Churchill y Chull

2.2.8.5 Coeficiente de transferencia de calor por radiación

La resistencia térmica por radiación, debido al intercambio de ondas electromagnéticas entre la superficie y los alrededores, se calculó de acuerdo con la Ecuación 2.36. Acto seguido, el valor del coeficiente de transferencia de calor por radiación se puede obtener a partir de la Ecuación 2.37.

$$R_{rad.} = \frac{1}{h_{rad.} * A_1}$$

Ecuación 2.36. Resistencia térmica de radiación

Donde:

$R_{rad.}$: Resistencia térmica por radiación en el medio externo $\left[\frac{K}{W} \right]$.

$h_{rad.}$: Coeficiente de transferencia de calor por radiación $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$

A_1 : Área superficial de la pared del ladrillo refractario $[m^2]$

$$h_{rad} = \varepsilon * \sigma * (T_{s2} - T_{alr}) * (T_{s2}^2 + T_{alr}^2)$$

Ecuación 2.37. Coeficiente de transferencia de calor por radiación

Donde:

$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right]$, constante de Stefan-Boltzman.

ε : emisividad superficial del ladrillo refractario.

T_{s2} : Temperatura superficial externa de la pared de ladrillo refractario $[^\circ C]$.

T_{alr} : Temperatura de los alrededores $[^\circ C]$.

2.2.8.6 Coeficiente global de transferencia de calor paredes de ladrillo refractario

El coeficiente global de transferencia de calor (U), para la pared del ladrillo refractario, se determina a partir de la Ecuación 2.38.

$$U = \frac{1}{R_{cond. pared} + \frac{1}{(R_{conv.} + R_{rad.})}}$$

Ecuación 2.38. Coeficiente global de transferencia de calor

Pérdida de calor desde la plancha de cocción

La pérdida de calor hacia la plancha de cocción es otro de los aspectos que se tuvieron en cuenta al momento de diseñar la cocina. Esta plancha tiene la función de sostener los recipientes de agua por encima de la llama, producto de la combustión de la leña. La Figura 2.14 muestra el circuito térmico de la plancha de cocción para determinar el coeficiente global de transferencia de calor de este.

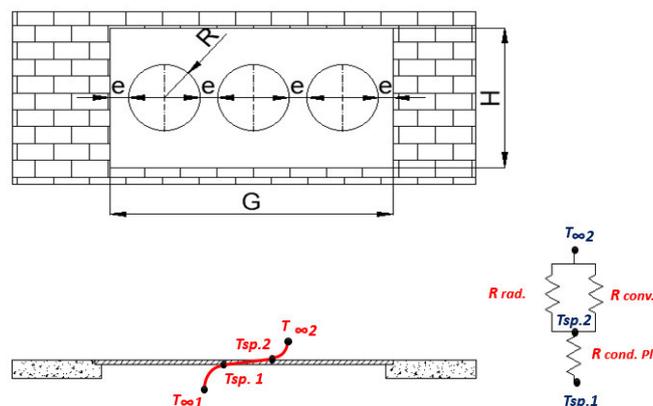


Figura 2.14. Circuito térmico de la plancha de cocción (hierro fundido)

(Fuente: Propia)

Donde:

$T_{\infty 1}$: Temperatura del flujo interno en la cámara de combustión [°C].

$T_{sp.1}$: Temperatura superficial interna de la placa de hierro fundido [°C].

$T_{sp.2}$: Temperatura superficial externa de la placa de hierro fundido [°C].

$T_{\infty 2}$: Temperatura del medio externo (aire) [°C]

$R_{cond. pared}$: Resistencia térmica por conducción (Plancha de hierro fundido) $\left[\frac{^{\circ}C}{W}\right]$.

$R_{conv.}$: Resistencia térmica por convección en el medio externo $\left[\frac{^{\circ}C}{W}\right]$.

$R_{rad.}$: Resistencia térmica por radiación en el medio externo $\left[\frac{^{\circ}C}{W}\right]$.

Entonces, la pérdida de calor hacia la plancha de cocción se determina a partir de la Ecuación 2.39.

$$\dot{Q}_{ppl} = U * A_{pl} * (T_{sp1} - T_{\infty 2})$$

Ecuación 2.39. Pérdidas de calor a través de la plancha de cocción

Donde:

\dot{Q}_{ppl} : El calor perdido a través de la plancha de cocción[W].

U : coeficiente global de transferencia de calor $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}\right]$

A_{pl} : Área superficial de la plancha de hierro fundido $[m^2]$.

$T_{sp,1}$: Temperatura superficial interna de la placa de hierro fundido $[^{\circ}C]$.

$T_{\infty 2}$: Temperatura del medio externo (aire) $[^{\circ}C]$

Por lo tanto, la resistencia térmica por conducción en la plancha de hierro fundido se calcula a partir de la relación entre el espesor de la placa y la conductividad térmica del mismo, de acuerdo con la Ecuación 2.40.

$$R_{cond. pl} = \frac{L_2}{K_2}$$

Ecuación 2.40. resistencia térmica de conducción de la plancha de hierro fundido

Donde:

$R_{cond. pl.}$: Resistencia térmica por conducción (Plancha de hierro fundido) $\left[\frac{^{\circ}C}{W}\right]$

L_2 : Espesor de la plancha de hierro fundido [m]

K_2 : Conductividad térmica del hierro fundido $\left[\frac{W}{m \cdot ^{\circ}C}\right]$

Después, se procedió a realizar el cálculo de la resistencia térmica por radiación con el medio externo, en base con la Ecuación 2.41.

$$R_{rad.pl.} = \frac{1}{h_{rad.pl}}$$

Ecuación 2.41. Resistencia térmica por radiación con el medio externo

Donde:

$R_{rad.pl.}$: Resistencia térmica por radiación en el medio externo $\left[\frac{^{\circ}C}{W}\right]$.

$h_{rad.pl.}$: Coeficiente de transferencia de calor por radiación de la plancha de hierro fundido hacia los alrededores. $\left[\frac{W}{m^2^{\circ}C}\right]$.

Por otro lado, la Ecuación 2.42 permite calcular el valor del coeficiente de transferencia de calor por radiación de la plancha de hierro fundido, es decir, $h_{rad.pl.}$.

$$h_{rad.pl} = \varepsilon * \sigma * T_{sp.2} - T_{alr} * (T_{sp.2} - T_{alr})$$

Ecuación 2.42. Coeficiente de transferencia de calor por radiación

Donde:

$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2K^4}\right]$, constante de Stefan-Boltzman

ε : emisividad superficial de la plancha de hierro fundido.

$T_{sp.2}$: Temperatura superficial externa de la plancha de hierro fundido. [$^{\circ}C$]

T_{alr} : Temperatura de los alrededores. [$^{\circ}C$]

Posteriormente, se procedió a calcular la resistencia térmica por convección entre la placa de hierro fundido y el medio externo, de acuerdo con la Ecuación 2.43.

$$R_{conv.pl} = \frac{1}{h_{conv.pl}}$$

Ecuación 2.43. Resistencia térmica por convección

Donde:

$R_{conv.pl.}$: Resistencia térmica por convección en el medio externo de la plancha de hierro fundido $\left[\frac{K}{W}\right]$.

$h_{conv.pl.}$: Coeficiente de transferencia de calor por convección entre el medio externo y la plancha metálica. $\left[\frac{W}{m^2^{\circ}C}\right]$

También, el coeficiente de convección ($h_{conv.pl}$) entre la placa y el medio externo se analizó con el método por convección natural, tal como se observa en la Ecuación 2.44.

$$h_{conv.pl} = \frac{\overline{Nu}_L * K}{L_C}$$

Ecuación 2.44. Coeficiente de transferencia de calor por convección entre la placa el medio

Donde:

\overline{Nu}_L : número de Nusselt

K : Conductividad térmica del medio externo (aire) $\left[\frac{W}{m^{\circ}C}\right]$

L_C : Longitud característica de la plancha de metálica (Largo de la plancha metálica) $[m]$

Por otro lado, para estimar las propiedades termo físicas del flujo libre alrededor de la plancha de cocción, se evaluó la temperatura de película a partir de la media aritmética entre la temperatura superficial externa de la plancha de cocción y temperatura ambiente tal como se muestra en la Ecuación 2.45.

$$T_f = \frac{T_{sp,2} + T_{\infty 2}}{2}$$

Ecuación 2.45. temperatura de película

Donde:

$T_{sp,2}$ Temperatura superficial externa de la plancha de hierro fundido. $[^{\circ}C]$

$T_{\infty 2}$: Temperatura del medio externo (aire) $[^{\circ}C]$

Coeficiente global de transferencia de calor plancha de cocción

Al igual que en el apartado de pérdidas de calor a través de las paredes de ladrillo refractario, es necesario calcular el coeficiente global de transferencia de calor U , para la plancha de cocción de alimentos de acuerdo con la Ecuación 2.46.

$$U = \frac{1}{R_{cond. Pl} + \frac{1}{(R_{conv.pl} + R_{rad.Pl})}}$$

Ecuación 2.46. Coeficiente global de transferencia de calor plancha de cocción

2.2.9 Eficiencia térmica de la cocina ecológica.

La eficiencia térmica de la cocina ecológica a leña se determinó a partir de la relación entre calor requerido para calentar tres recipientes de agua y el calor necesario para hornear una porción de carne respecto al calor suministrado por la combustión de la leña, tal como se muestra en la Ecuación 2.47.

$$\eta_t = \frac{\dot{Q}_{calentar\ H_2O} + \dot{Q}_{hornear\ carne}}{\dot{Q}_{comb}}$$

Ecuación 2.47. Eficiencia térmica

Donde:

$\dot{Q}_{calentar\ H_2O}$: Calor requerido para calentar agua [W]

$\dot{Q}_{comb.\ leña}$: Calor suministrado por la combustión de la leña. [W]

2.3 Protocolo de pruebas

Para la evaluación de la cocina, es necesario realizar pruebas de temperatura, ebullición de agua y cocción a la estufa ecoeficiente, con el fin de evaluar su correcto funcionamiento, una vez terminada su construcción. Estas pruebas permitieron obtener parámetros como temperaturas de trabajo, tiempos de cocción, consumo de leña, entre otros.

Debido a que no existe un método estandarizado internacional para el desarrollo de las pruebas mencionadas, se tomó como referencia al trabajo realizado por (LINEB, 2015) para realizar las siguientes que formalmente llevan el nombre de:

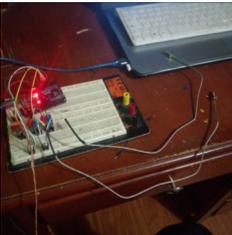
- Prueba de funcionalidad y dimensiones.
- Prueba de ebullición de agua
- Prueba de cocción controlada
- Prueba de perfil de temperaturas

Los formatos de tablas que se utilizaron, para registrar los datos de las pruebas realizadas, se muestran en el Anexo II y las fotografías correspondientes al protocolo de pruebas se pueden visualizar en el Anexo III.

Instrumentación.

Para realizar las pruebas se utilizaron los materiales e instrumentos descritos en la Tabla 2.12

Tabla 2.12. Materiales y equipos utilizados durante las pruebas

Materiales y equipos	Imagen de referencia	Características
Leña		Trozos de leña de 2 a 4 cm de ancho y 20 a 30 cm de largo
Balanza		Capacidad en Kg: 15 Capacidad en lb: 33 Marca: Camry
Cronómetro		Marca: CASIO Modelo: W-218H-1AV Capacidad: 59'59.99"
Ollas		Capacidad: 5 Lts. Material: Aluminio.
Circuito de medición de temperaturas		La descripción de sus partes se presenta en la Tabla 2.13.
Flexómetro		Capacidad en metros: 5 Capacidad en pies: 16 Marca: Stanley Apreciación: 1 mm

(Fuente: propia)

Para la medición de la temperatura de la cocina, se tuvo la necesidad de diseñar y construir un medidor de temperatura con entrada para termocupla tipo K, mediante el uso de la Tarjeta Electrónica Arduino UNO y el módulo MAX6675, que es un convertidor de señal analógico a digital para termopares tipo k. El MAX6675 tiene una resolución de 0.25 °C y su voltaje de alimentación va desde los 3.0 a 5.5 V, por lo que se lo puede utilizar con cualquier tipo de microcontrolador a tarjeta electrónica. Tomando en cuenta lo anterior, se hizo uso de la tarjeta Arduino Uno debido a su compatibilidad y beneficios tales como su bajo coste y facilidad de uso. Una vez identificado los componentes, se inició con el diseño del circuito, tomando en cuenta todas las especificaciones de entradas y salidas que presenta su Datasheet. El esquema de conexión utilizado se puede visualizar en la Figura 2.15.

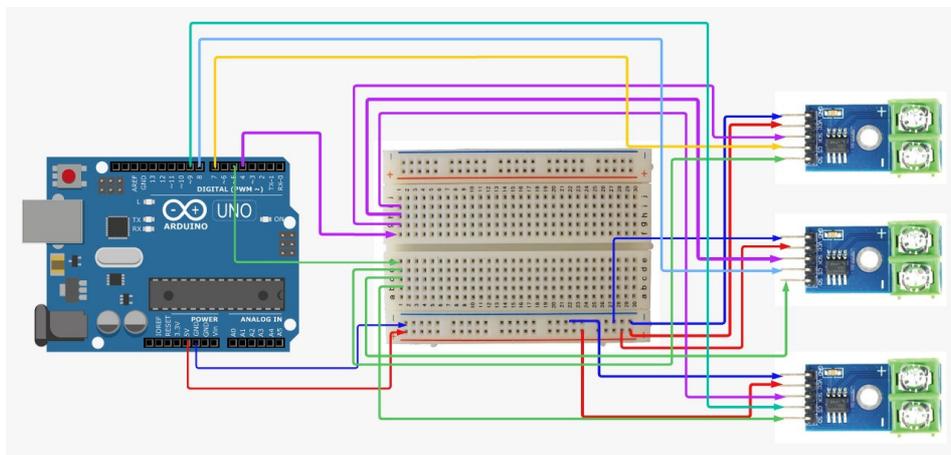


Figura 2.15. Circuito de Arduino para tomar los datos de temperatura

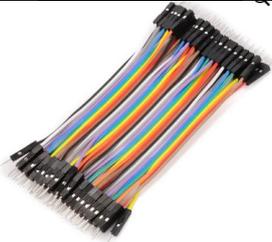
(Fuente: propia)

Para la recolección de datos de temperatura se requirió desarrollar un script de programación, haciendo uso del entorno de desarrollo Arduino IDE que permite escribir, editar, compilar, depurar y cargar el código en una memoria, en este caso el Arduino UNO. Para el desarrollo del código se usó la librería "max6675.h", que contiene varias funciones para la obtención de la temperatura en tiempo real. Inicialmente, se debe importar la librería ya mencionada y, posteriormente, se declaran las variables que hacen referencia a los pines utilizados para la comunicación con el MAX6675 (SO, CLK, CS).

Además, se debe armar un objeto de tipo MAX6675 uno para cada sensor utilizado; es decir, dado que se tienen 4 sensores, se necesitan 4 objetos. Ahora, en la función loop se realiza la instancia de cada uno de los objetos declarados anteriormente y se procede a llamar la función "readCelsius", la cual permite recuperar la temperatura del sensor en grados Celsius. Finalmente, el intervalo de tiempo de la lectura de temperatura fue 10

segundos, lo que se logró mediante la función delay (retraso). El código desarrollado se puede observar en el anexo IV, y los elementos utilizados en la Tabla 2.13.

Tabla 2.13. Materiales usados en el circuito de Arduino

Materiales y equipos	Imagen de referencia	Características
Protoboard		<p>Marca: Yikeshu Puntos de conexión: 400 Entrada estándar.</p>
Cables de conexión		<p>Entradas USB Velocidad de transmisión alta</p>
Cable para protoboard		<p>Macho a macho Tamaño: 10 cm</p>
Termocupla tipo K		<p>Rango de temperatura: -200°C a 1300°C</p>
Transmisor		<p>MAX6675 para termocupla tipo k Rango: 0°C a 1023°C Voltaje: 5V</p>
Arduino		<p>Arduino UNO R3</p>

(Fuente: propia)

2.3.1 Prueba de funcionalidad y dimensiones.

La prueba de funcionalidad y dimensiones consiste en verificar que todos los elementos del equipo cumplan con las especificaciones establecidas en el diseño. Para ello en primera instancia se verificará las dimensiones generales del cuerpo de la cocina ecoeficiente, en base al siguiente procedimiento.

- 1) Medir las dimensiones reales del cuerpo de cocina ecoeficiente, cámara de combustión, horno y ducto de la chimenea.
- 2) Revisar las dimensiones teóricas de diseño en los planos de conjunto y taller.
- 3) Anotar y comparar las dimensiones teóricas y reales de la cocina ecoeficiente acorde al formato adjunto en el anexo III.

Una vez realizado la verificación de las dimensiones, se realiza la prueba de funcionalidad de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- 1) Revisar que los accesorios metálicos de la cocina estén correctamente instalados tales como plancha de cocción, puerta de la cámara de combustión, horno y ducto de la chimenea.
- 2) Apilar 3 kilogramos de leña en el interior de la cámara combustión en forma pirámide.
- 3) Encender la leña y cerrar la puerta de la cámara de combustión.
- 4) Inspeccionar alrededor de las paredes del ladrillo, si existe fugas de humo.
- 5) Verificar que la válvula reguladora incorporada en el ducto de la chimenea gire sin inconvenientes.
- 6) Colocar sensores de temperatura, en la pared externa del ladrillo refractario, puerta de la cámara de combustión, horno y ducto de la chimenea.
- 7) Registrar la velocidad de salida de los gases de combustión, con el anemómetro.
- 8) Anotar las condiciones de funcionamiento de acuerdo con el formato adjunto en el anexo III.

2.3.2 Prueba de ebullición de agua

La prueba consiste en medir la temperatura del agua en función del tiempo desde que el agua se encuentra a temperatura ambiente hasta que se calienta y llega al punto de ebullición, adicional se mide la cantidad de leña utilizada en el proceso.

Estas mediciones se las realizan en dos fases, las cuales son:

- **Fase 1 (calentamiento con inicio de cocina en frío):** consiste en hervir 5 litros de agua en la cocina cuando esta se encuentra fría es decir en vacío, sin haber sido utilizada en las últimas 24 horas.
- **Fase 2 (calentamiento con inicio de cocina en caliente):** consiste en hervir 5 litros de agua en la cocina, una vez que se realizó la fase 1, aprovechando que aun la cocina no se ha enfriado totalmente.

Procedimiento

Antes de la prueba

- 1) Limpiar la cocina, y retirar restos de leña de la cámara de combustión.
- 2) Verificar el buen estado y la calibración los instrumentos de medición. (Cronómetro, balanza y termómetro)
- 3) Preparar las ollas y el agua necesaria para la prueba
- 4) Verificar que la leña se encuentre seca y cortarla en pedazos de 25 cm de largo.

Durante la prueba

Fase de calentamiento con inicio en frío

- 1) Llenar la olla con 5 litros de agua.
- 2) Pesar la olla y colocarla en la plancha de la cocina.
- 3) Colocar 5 kilogramos de leña en la cámara de combustión.
- 4) Colocar los sensores de temperatura en las zonas donde se desea obtener las temperaturas.
- 5) Prender la leña y una vez que se haya encendido, activar el cronómetro.
- 6) Detener el cronómetro y registrar el tiempo una vez que el agua llegue al punto de ebullición.
- 7) Pesar la olla de agua.
- 8) Apagar el fuego y registrar el peso de la leña sobrante.
- 9) Retirar el carbón remanente de la cámara de combustión.

Fase de calentamiento con inicio en caliente:

- 1) Colocar una olla con 5 litros de agua.
- 2) Colocar otros 5 kilogramos de leña en la cámara de combustión.
- 3) Colocar los sensores de temperatura en las zonas donde se desea obtener las temperaturas.
- 4) Encender el fuego y activar el cronómetro, ayudándose con la leña sobrante de la fase 1 para facilitar el encendido de la leña.
- 5) Detener el cronómetro y registrar el tiempo cuando el agua llegue al punto de ebullición.
- 6) Registrar el peso de la olla.
- 7) Apagar el fuego y registrar el peso de la leña sobrante.
- 8) Retirar e carbón remanente de la cámara de combustión.

2.3.3 Prueba de cocción controlada

Esta prueba se fundamenta en determinar el tiempo de cocción de los alimentos y el consumo de combustible, para posteriormente comparar los datos de tiempos de cocción con estufas comunes tales como: cocinas de inducción o GLP

Procedimiento

1. Registrar el peso o unidades de los alimentos que se pretende cocinar, en este caso son: 0.11kg de tallarín, 1kg de arroz, 0.5 kg de papas
2. Colocar las ollas con agua en la cocina
3. Colocar los sensores de temperatura en las zonas donde se desea obtener las temperaturas.
4. Poner 5 kg leña dentro la cámara de combustión y encender el fuego.
5. Encender el cronómetro
6. Mantener el fuego constante. En caso de que la leña dentro de la cámara de combustión se termine, pesar y colocar más.
7. Una vez que la olla llegue al punto de ebullición añadir los productos a las ollas.
8. Registrar el tiempo mostrado en el cronómetro una vez que finalice la cocción.
9. Apagar el fuego de la cámara de combustión y retirar el carbón sobrante y registrar su peso.
10. Preparar la misma cantidad de alimentos en cocinas comunes, de manera que se pueda obtener datos que permitan comparar los tiempos de cocción de una cocina tradicional con la cocina ecoeficiente.

2.3.4 Prueba de perfil de temperaturas

La prueba de perfil de temperaturas nos permite monitorear e interpretar el gradiente de temperatura en los distintos componentes de la estufa ecológica tales como: cámara de combustión, horno, chimenea y recipiente de cocción, con la finalidad de identificar las temperaturas críticas que puedan afectar hacia el diseño constructivo de la estufa y seguridad del usuario.

Procedimiento

1. Colocar los sensores de temperatura en las zonas donde se desea obtener las temperaturas.
2. Colocar la leña dentro de la cámara de combustión
3. Encender la leña y vigilar que el fuego permanezca constante; de ser necesario, añadir pequeñas cantidades de leña.

4. Registrar las temperaturas obtenidas durante la combustión de la leña.
5. Retirar los sensores de temperatura una vez terminado el consumo de la leña y realizar las gráficas correspondientes.

2.3.5 Consideraciones

A partir de los datos que se recolecten en esta prueba, se puede determinar el tiempo que tarda en hervir tres ollas de agua de 5 litros, el cual se obtiene directamente del cronómetro. También, permite conocer la eficiencia térmica de la estufa, la cual se obtiene de la relación entre la energía entregada a la olla de agua y la energía total de entrada. Según (LINEB, 2015), se utiliza la Ecuación 2.48 para calcular la eficiencia térmica de la cocina durante esta prueba.

$$Ef = \left(\frac{Eo}{Ee} \right) * 100$$

Ecuación 2.48. Eficiencia térmica de la cocina

Donde:

Ef=Eficiencia térmica de la cocina [%]

Eo=Energía utilizada para calentar el agua [kJ]

Ee=Energía total de entrada [kJ]

Por otro lado, para calcular la energía total de entrada, se utiliza la Ecuación 2.49.

$$Ee = m_{leña} * PCi$$

Ecuación 2.49. energía total de entrada

Donde:

$m_{leña}$ =Masa de leña [kg]

PCi=Pode calorífico inferior de la leña [kJ/kg]

Luego, la energía entregada a la olla con agua se calcula con la Ecuación 2.50:

$$Eo = \left(4.18 \times 10^{-3} \frac{MJ}{Kg \text{ } ^\circ C} \right) (T_i - T_{eb})(m_{eb}) + \left(2.257 \frac{MJ}{Kg} \right) (m_{ev})$$

Ecuación 2.50. Energía entregada a la olla

Donde:

T_i =Temperatura inicial del agua

T_{eb} = Temperatura de ebullición del agua

m_{eb} = Masa de agua existente cuando alcanza el punto de ebullición.

m_{ev} = Masa de agua evaporada.

Además, para calcular la cantidad de leña consumida, se utiliza la Ecuación 2.51.

$$m_{leñac} = m_{leñai} - m_{leñaf}$$

Ecuación 2.51. Masa de leña consumida

$m_{leñac}$ = Masa de leña consumida. [kg]

$m_{leñai}$ = Masa de leña inicial. [kg]

$m_{leñaf}$ = Masa de leña sobrante. [kg]

Finalmente, la potencia de la cocina debe calcularse de acuerdo con la Ecuación 2.52.

$$P_t = \frac{Ee}{60 * t_{eb}}$$

Ecuación 2.52. Potencia de la cocina

Donde:

P_t = Potencia de la cocina [kW]

t_{eb} = Tiempo transcurrido para la ebullición del agua [s]

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 3.1 se muestran los datos geográficos de la parroquia de Amaguaña según (Climate Data, s.f.). En este lugar se construyó e instaló la cocina ecoeficiente.

Tabla 3.1. Datos geográficos del sector Amaguaña

Provincia	Pichincha
Cantón	Quito
Parroquia	Amaguaña
Altitud	2.898 m
Temperatura mínima promedio	8,5 °C
Temperatura máxima promedio	15 °C
Temperatura media anual	11,1°C

(Fuente: (Climate Data, s.f.))

3.1 Proceso de Cálculo

3.1.1.1 Dimensionamiento de la cámara de combustión

Para determinar las dimensiones de largo, ancho y alto de la cámara de combustión, es necesario conocer la masa combustible que se debe utilizar durante el proceso de ignición. Para ello, se asume un valor de eficiencia térmica del 30%. Posteriormente, dicho valor debe ser recalculado, una vez que la estufa se encuentre construida.

3.1.1.2 Calor útil para la cocción de alimentos

En primera instancia se procede a calcular el calor requerido para calentar tres recipientes de agua y el calor necesario para hornear una porción de carne mediante la Ecuación 2.3 y la Ecuación 2.4, respectivamente.

Eficiencia térmica asumida: 30%

Volumen de agua (V_{H_2O}): 15 [Ltrs]

Calor específico del agua (Cp_{H_2O}): $4180 \left[\frac{J}{kg \cdot K^\circ} \right]$

Temperatura de ebullición del agua ($T_{ebullición}$): 91[°C]

Temperatura ambiente (T_{amb}): 15 [°C]

Masa de la carne de cerdo (M_{cerdo}): 4 [kg]

Calor específico de la carne de cerdo (Cp_{cerdo}): $3490 \left[\frac{J}{kg \cdot K^\circ} \right]$

Temperatura de cocción ($T_{cocción}$): 190[°C]

Tiempo para hervir el agua ($t_{hervir\ agua}$) [min]/[s]: 20/1200

Tiempo de cocción de la carne [min]/[s]: 27/1620

Poder calorífico inferior de la leña: $14500 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$

$$\dot{Q}_{calentar H_2O} = \frac{15[ltrs] * \frac{0.001 [m^3]}{1 [ltrs]} * 997 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 4180 \left[\frac{J}{kg * K^\circ} \right] * (91 [^\circ C] - 18 [^\circ C])}{1200 [s]}$$

$$\dot{Q}_{calentar H_2O} = 3.8 [kW]$$

$$\dot{Q}_{carne cerdo} = \frac{4 [Kg] * 3490 \left[\frac{J}{kg * K^\circ} \right] * (190 [^\circ C] - 18 [^\circ C])}{1620 [s]}$$

$$\dot{Q}_{carne cerdo} = 1.48 [kW]$$

Reemplazando los valores obtenidos en la Ecuación 2.2, se obtiene el valor del calor útil necesario para la cocción de los alimentos.

$$\dot{Q}_{util} = 3.8 [kW] + 1.48 [kW]$$

$$\dot{Q}_{util} = 5.28 [kW]$$

3.1.1.3 Flujo másico de combustible

Una vez obtenido el valor del calor útil, se calcula el flujo másico de combustible que se debe suministrar en la cámara de combustión a través de la Ecuación 2.47.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{calentar H_2O} + \dot{Q}_{hornear carne}}{\dot{Q}_{comb}}$$

$$\dot{m}_{comb} = \frac{3.8 [kW] + 1.48 [kW]}{14500 [kJ] * 0.3}$$

$$\dot{m}_{comb} = 3.68 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

3.1.1.4 Volumen de la cámara de combustión

Después de conocer el valor de la cantidad de masa de leña que se necesita para la combustión, se determina el volumen mínimo de leña que debe ser suministrado en la cámara de combustión a partir de la Ecuación 2.10.

Datos:

$$\rho_{leña} = 1200 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$V_{leña} = \frac{3 [kg]}{1200 \left[\frac{kg}{m^3} \right]}$$

$$V_{leña} = 2.5 \times 10^{-3} [m^3]$$

De acuerdo con este volumen, se determinaron las posibles dimensiones de los troncos apilados de leña, cuyas dimensiones pueden ser de 25 [cm] de largo, 10 [cm] ancho y 10 [cm] de alto tal como se muestra en la Figura 3.1.

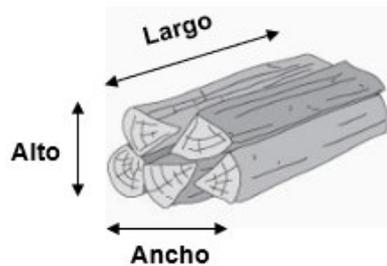


Figura 3.1 dimensiones generales de los troncos apilados de leña

(Fuente: propia)

Dado que el volumen calculado anteriormente se diseñó para suministrar como mínimo 3 kilogramos de leña por hora, es necesario ampliar dicho volumen; pues, para cargar la leña previamente en la cámara de combustión, se debe acomodar en forma de pirámide, garantizando así una pequeña abertura en el centro de la geometría para el ingreso de aire tal como se muestra en la Figura 3.2.

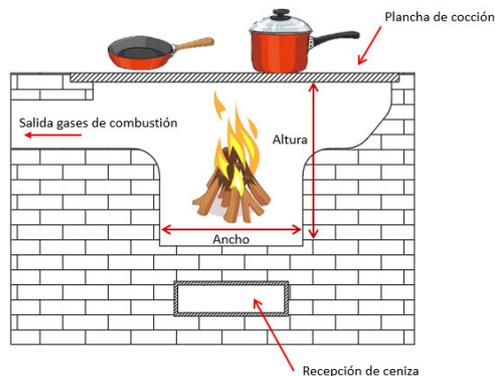


Figura 3.2 Geometría de la cámara de combustión

(Fuente: propia)

Según (Amesti, 2016), es recomendable tronzar pequeñas astillas de leña seca cuya longitud sea de 25 [cm] a 30 [cm] de largo y una sección de aproximadamente 3 [cm] tal como se muestra en la Figura 3.3. El criterio de espaciamiento las longitudes de largo, ancho y alto de la cámara de combustión establece que el ancho y el alto deben ser mayor al largo de los trozos de leña es decir mayor a 30 [cm]. Por lo tanto, para el dimensionamiento de la cámara de combustión, se consideró las siguientes longitudes de acuerdo con la Tabla 3.2.

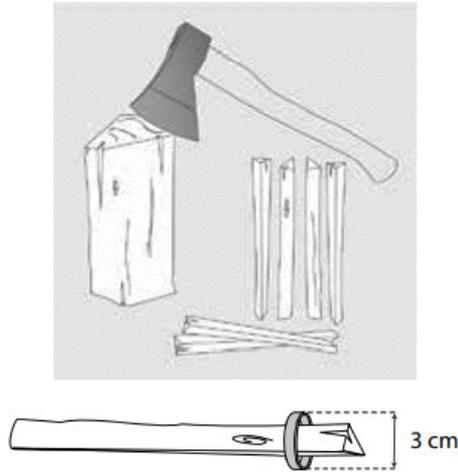


Figura 3.3 Tronzado de las astillas de leña

(Fuente: propia)

Tabla 3.2 Dimensiones generales de la cámara de combustión

Designación	Longitud	Unidad
Fondo	40	[cm]
Ancho	35	[cm]
Alto	35	[cm]

(Fuente:Propia)

3.1.2 Dimensionamiento de la chimenea

Diámetro de la chimenea

Para dimensionar el diámetro del ducto de la chimenea, se aplicó la Ecuación 2.11.

$$r_{chim} = \sqrt{\frac{(35 [cm] * 35 [cm]) * 0.10}{\pi}}$$

$$r_{chim} = 6.24 [cm]$$

$$\Phi_{chim} = 5 [in]$$

Por lo tanto, el área de salida de los gases de combustión debe tener como mínimo una sección de 122.32 [cm²]. De esta forma, El diámetro seleccionado para la chimenea fue de 152.4 [cm], es decir $\phi_{chim} = 6$ [in].

Altura de la chimenea

La altura del ducto de la chimenea se calcula a partir de la Ecuación 2.12.

$$20\phi_{chim} \leq H_{chim} \leq 25\phi_{chim}$$

$$20 * 12.5[cm] \leq H_{chim} \leq 25 * 12.5[cm]$$

$$250 [cm] \leq H_{chim} \leq 312.5[cm]$$

Por lo tanto, la altura de la chimenea seleccionada es de 2.5 [m]

3.1.3 Calor de combustión de la leña

Una vez obtenido el valor el flujo másico de combustible teórico, en el apartado de dimensionamiento de la cámara de combustión, se procedió a calcular el calor suministrado por el calor entregado por la leña de acuerdo con la Ecuación 2.5 y con un valor de poder calorífico inferior (PCi) de 14.50 MJ/kg (Arroyo Vinuesa & Reina Guzmán, 2016).

$$\dot{Q}_{comb. leña} = 1.021 \times 10^{-3} \left[\frac{kg}{s} \right] * 14500 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$\dot{Q}_{comb. leña} = 14.8 [kW]$$

Relación aire combustible

Para el cálculo de la relación aire combustible, se consideró que la reacción química fundamental de la combustión se modeló bajo los supuestos de una combustión estequiométrica ideal balanceada tal como se muestra en la Ecuación 2.18. A continuación, en la Tabla 3.3 se detalla el valor del número de moles, peso y masa molecular, de los reactivos y los productos de la reacción química.

Tabla 3.3 Masa molar de la leña.

	$C_6H_{10}O_5$	O_2	N_2	H_2O	CO_2	N_2
Mol	1	6	22,38	5	6	22,32
Peso molecular	162	32	28	18	44	28
Masa molecular (kg/mol)	162	192	626,64	90	264	624,96
	980,64			978,96		

(Fuente: Propia)

$$AC = \frac{M_{aire} * (N_{aire})}{M_{combustible} * (N_{combustible})}$$

$$AC = \frac{32 \left[\frac{kg}{mol} \right] * 6 mol O_2 + 28 \left[\frac{kg}{mol} \right] * 22.38 mol N_2}{162 \left[\frac{kg}{mol} \right] * 1 mol C_6H_{10}O_5}$$

Por lo tanto, el valor de la relación de aire combustible es el siguiente:

$$AC = 5.05 \left[\frac{kg \text{ aire}}{kg \text{ combustible}} \right]$$

Posteriormente, se procedió a calcular el flujo másico de aire de acuerdo con el valor de la relación aire combustible.

$$AC = \frac{\dot{m}_{aire}}{\dot{m}_{comb}}$$

$$\dot{m}_{aire} = 5.05 \left[\frac{kg \text{ aire}}{kg \text{ combustible}} \right] * 1.021x10^{-3} \left[\frac{kg \text{ combustible}}{s} \right]$$

$$\dot{m}_{aire} = 5.156x10^{-3} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Con ayuda del balance de energía en la cámara de combustión, el flujo de salida de los gases calientes, producto de la combustión, se determina de acuerdo con la Ecuación 2.20.

$$\dot{m}_{gases \text{ combuston}} = 5.156x10^{-3} \left[\frac{kg}{s} \right] + 1.021x10^{-3} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$\dot{m}_{gases \text{ combuston}} = 6.177x10^{-3} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$\dot{m}_{gases \text{ combuston}} = 22.24 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

Pérdida de calor por los gases de combustión

El flujo de calor evacuado por los gases de combustión, a través de la chimenea, se calcula a partir de la Ecuación 2.16. De acuerdo con (Stampaggi), la temperatura máxima de los gases ($T_{gases \text{ max}}$) es de 200°C.

$$\dot{m}_{gases \text{ combuston}} = 22.24 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

$$T_{gases \text{ max}} = 200 [^{\circ}C]$$

$$Cp_{gas} = 1023 \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$$

$$\dot{Q}_{p,gases\ de\ combustión} = 22.24 \left[\frac{kg}{h} \right] * \frac{1h}{3600\ s} * 1023 \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right] * 200 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\dot{Q}_{p,gases\ de\ combustión} = 1.26 \text{ [kW]}$$

Dimensionamiento del espesor de los ladrillos

Las pérdidas de calor hacia las paredes se calculan a partir del balance de energía del calor suministrado por la combustión de la leña y el calor útil para la cocción de los alimentos tal como se muestra en la Ecuación 3.1.

$$\dot{Q}_{comb.\ leña} = \dot{Q}_{útil} + \dot{Q}_{perdidas}$$

Ecuación 3.1. Calor de combustión de la leña

$$14.8 \text{ [kW]} = 5.28 \text{ [kW]} + 1.26 \text{ [kW]} + \dot{Q}_{p,paredes}$$

$$\dot{Q}_{p,paredes} = 8.26 \text{ [kW]}$$

$$\frac{K_{ladrillo} * A * (T_{s1} - T_{s2})}{L} = 8.26 \text{ [kW]}$$

$$L = \frac{0.41 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right] * 1 \text{ [m}^2\text{]} * (750 \text{ }^\circ\text{C} - 18 \text{ }^\circ\text{C})}{8260 \text{ [W]}}$$

$$L = 0.036 \text{ [m]} \approx 3.6 \text{ [cm]}$$

De acuerdo con la Tabla 2.11, el ladrillo que se seleccionó es de la marca MAREC, tipo jaboncillo cuyas dimensiones son de 20x10x6 [cm], posee una temperatura de operación es de 900°C a 1500°C y su coeficiente de conductividad térmica es de 0.39 $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ\text{C}} \right]$.

3.2 Dimensionamiento de la cocina

De acuerdo con el procedimiento detallado en la metodología, se obtuvieron los valores detallados en la Tabla 3.4 para cada dimensión. Adicionalmente, los planos de conjunto y de taller se pueden encontrar en la sección de anexo VI.

Tabla 3.4. Dimensiones de la cocina ecoeficiente

Partes	Dimensiones [mm]
A: Ancho de la cocina	590
B: Altura de la cocina	1400
C: Longitud total de la cocina	1660
D: Altura de la cámara de cenizas	300
E: Altura de la cámara de combustión	210
F: Altura de la chimenea	2500
G: Largo de la plancha metálica	830
H: Ancho de la plancha metálica	250
I: Altura del horno	350
J: Diámetro del ducto de la chimenea	153 (6")
M: Altura de ubicación de hornillas	900
N: altura desde la base hasta la cúpula	330
f: Altura del canal de circulación de gases de combustión alrededor del horno	60

(Fuente: Propia)

3.3 Cálculos de la eficiencia real de la estufa ecoeficiente

En este apartado se procede a calcular la cantidad de calor perdido, así como el dimensionamiento de la cocina ecoeficiente, valiéndose de las ecuaciones desarrolladas en la metodología.

3.3.1 Análisis en la cámara de combustión

Pérdida de calor a través de las paredes de la cámara de combustión

Las paredes la cámara de combustión esta compuestas por dos tipos de ladrillo, los cuales son: un ladrillo refractario de 2 cm de espesor y un ladrillo tipo jaboncillo de 6 cm de espesor y que generan una resistencia térmica. Esta resistencia por conducción en la pared del ladrillo refractario se calculó a partir de la Ecuación 2.27, con un espesor de pared de 0.1 [m] y una conductividad térmica de $0.15 \left[\frac{W}{m^{\circ}C} \right]$ tal como se muestra a continuación.

$$R_{cond. pared} = \frac{0.1 [m]}{0.39 \left[\frac{W}{m^{\circ}C} \right]}$$

$$R_{cond. pared} = 0.11 \left[\frac{m^2^{\circ}C}{W} \right]$$

Por otro lado, la resistencia térmica por convección con el medio externo (aire) requiere los datos de las propiedades termo físicas que se calcularon con la temperatura de película a partir de la Ecuación 2.30.

$$T_f = \frac{T_{s2} + T_{\infty 2}}{2}$$

$$T_f = \frac{38^\circ\text{C} + 18^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_f = 28^\circ\text{C}$$

Una vez obtenido el valor de la temperatura de película, se determinaron las propiedades termo físicas del aire tales como: viscosidad cinemática, conductividad térmica, calor específico y el número de Prandtl en la Tabla 3.5.

Número de Grashof

Se determina a través de la Ecuación 2.31, considerando la altura de la cocina como $L=0.9$ [m].

$$Gr_L = \frac{9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right] * \frac{1}{28^\circ\text{C}} * (38^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C}) * 0.45^3}{(1.59 \times 10^{-5})^2}$$

$$Gr_L = 2.53 \times 10^9$$

Tabla 3.5. Propiedades termo-físicas del aire

Propiedad	Valor	Unidad
ρ	1.172	$\left[\frac{kg}{m^3} \right]$
C_p	1007	$\left[\frac{J}{kg^\circ\text{C}} \right]$
μ	1.863×10^{-5}	$\left[\frac{kg}{m * s} \right]$
ν	1.59×10^{-5}	$\left[\frac{m^2}{s} \right]$
K	0.0257	$\left[\frac{W}{m^\circ\text{C}} \right]$
α	2.181×10^{-5}	$\left[\frac{m^2}{s^2} \right]$
Pr	0.761	Adimensional

(Fuente: Incropera & Dewitt, 1999)

Número de Nusselt

En primera instancia, se calcula el número de Rayleigh de acuerdo con la Ecuación 2.33.

$$Ra_L = 2.53 \times 10^9 * 0,761$$

$$Ra_L = 1.92 \times 10^9$$

Dado que el $Ra_L \leq 10^9$, el comportamiento del fluido es un flujo laminar; por lo tanto, se utiliza la Ecuación 2.34.

$$\overline{Nu}_L = 0,68 + \frac{0,670 * (1,92 \times 10^9)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,761}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

$$\overline{Nu}_L = 1,09 \times 10^2$$

Coefficiente de transferencia de calor por convección

Se calculó utilizando la Ecuación 2.29, considerando una altura $L=0.9$ [m] y la conductividad térmica del aire de $0.0257 \left[\frac{W}{m^{\circ}C}\right]$.

$$h_{conv.} = \frac{1,09 \times 10^2 * 0,0257 \left[\frac{W}{m^{\circ}C}\right]}{0,45 [m]}$$

$$h_{conv.} = 6,24 \left[\frac{W}{m^2 \cdot C}\right]$$

A continuación, se procedió a calcular la resistencia térmica por convección de acuerdo con la Ecuación 2.27.

$$R_{conv.} = \frac{1}{6,24 \left[\frac{W}{m^2 \cdot C}\right]}$$

$$R_{conv.} = 0,16 \left[\frac{m^2 \cdot C}{W}\right]$$

Resistencia térmica por radiación en el medio externo

Esta resistencia se calcula en base a la Ecuación 2.36. Para obtener su valor es necesario conocer el coeficiente de transferencia de calor por radiación que se calcula con la Ecuación 2.37, teniendo en cuenta que la emisividad del ladrillo refractario es de 0.93 y la constante de Stefan Boltzmann tiene un valor de $5,67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4}\right]$.

$$h_{rad} = 0,93 * 5,67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 * K^4}\right] * (38^{\circ}C - 18^{\circ}C) * (38^{\circ}C^2 - 18^{\circ}C^2)$$

$$h_{rad} = 1,18 \times 10^{-3} \left[\frac{W}{m^2 \cdot C}\right]$$

$$R_{rad.} = \frac{1}{1,18 \times 10^{-3} \left[\frac{m^2 \cdot C}{W}\right]}$$

$$R_{rad.} = 8.47 \times 10^2 \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right]$$

Pérdida de calor a través de la pared del ladrillo refractario

Finalmente, se calculó el área total de transferencia de acuerdo con la nomenclatura de la Figura 2.12 y, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Área superficial de transferencia de calor

Pared de ladrillo	[m ²]
S1	0,27
S2	0,75
S3	0,168
S5	0,15
S6	0,2934
S7	0,2934
S8	0,5216
Área Total	2,4464

(Fuente: Propia)

Por lo tanto, el calor perdido a través de las paredes del ladrillo refractario se calculó de acuerdo con la Ecuación 2.26.

$$\dot{Q}_{pp} = \frac{1}{0.11 \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right] + \frac{1}{\left(\frac{1}{0.16 \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right]} + \frac{1}{8.47 \times 10^2 \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right]} \right)}} * 2.44 [m^2] * (750^\circ C - 18^\circ C)$$

$$\dot{Q}_{pp} = 6.61 [kW]$$

3.3.2 Pérdida de calor a través de la plancha de cocción

El siguiente paso comprendió el cálculo de la pérdida de calor a través de la plancha de cocción de los alimentos, cuyo material es hierro fundido gris ASTM A48. En la Tabla 3.7 se presentan las propiedades térmicas de la plancha de hierro fundido.

Tabla 3.7 Propiedades térmicas del hierro fundido

Propiedad	Valor	Unidad
Dimensión	180.5x35x1.8	[cm]
Densidad	7150	[kg/m ³]
Punto de fusión	1260	[°C]
Poder Calorífico	460	[J / g K]
Conductividad térmica [k]	53	[W/m*K]

(Fuente: Nuclear Power, 2022)

Resistencia térmica por conducción en la plancha de cocción de alimentos

Este parámetro se calcula a partir de la Ecuación 2.40, con un espesor de pared de 0.018 [m] y conductividad térmica de $53 \left[\frac{W}{m^{\circ}C} \right]$, tal como se muestra a continuación:

$$R_{cond. pl} = \frac{0.018 [m]}{53 \left[\frac{W}{m^{\circ}C} \right]}$$
$$R_{cond. pl} = 3.39 \times 10^{-4} \left[\frac{m^2 \cdot ^{\circ}C}{W} \right]$$

Resistencia térmica por convección en el medio externo

Para obtener los datos de las propiedades termo físicas del aire (medio externo), se calcula la temperatura de película a partir de la Ecuación 2.45.

$$T_f = \frac{750^{\circ}C + 18^{\circ}C}{2}$$
$$T_f = 384^{\circ}C$$

Una vez obtenido el valor de la temperatura de película, se determinó las propiedades termo físicas a esta temperatura cuyos resultados se presentan en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8 Propiedades termo físicas del aire a 384 °C

Símbolo	Valor	Unidad
ρ	1.172	$\left[\frac{kg}{m^3} \right]$
c_p	1007	$\left[\frac{J}{kg^{\circ}C} \right]$
μ	1.863×10^{-5}	$\left[\frac{kg}{m \cdot s} \right]$
ν	5.82×10^{-5}	$\left[\frac{m^2}{s} \right]$
K	0.0496	$\left[\frac{W}{m^{\circ}C} \right]$
α	2.181×10^{-5}	$\left[\frac{m^2}{s^2} \right]$
Pr	0.692	Adimensional

(Fuente: Incropera & Dewitt, 1999)

Número de Grashof

Se determina por medio de la Ecuación 2.31, considerando una altura de la cocina ecoeficiente de $L=0.9$ [m].

$$Gr_L = \frac{9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right] * \frac{1}{384 \text{ } ^\circ C} * (750^\circ C - 18^\circ C) * 0.8^3}{(5.82 \times 10^{-5})^2}$$

$$Gr_L = 2.82 \times 10^9$$

Número de Nusselt

En primera instancia, se calculó el número de Rayleigh en base a la Ecuación 2.33, cuyo valor es el producto entre el número de Grashof y el número de Prandtl.

$$Ra_L = 2.82 \times 10^9 * 0,692$$

$$Ra_L = 1.93 \times 10^9$$

Dado que el $Ra_L \leq 10^9$, el comportamiento del fluido es laminar, por lo tanto, se utiliza la Ecuación 2.34.

$$\overline{Nu}_L = 0,68 + \frac{0,670 * (1.93 \times 10^9)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,692} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{4}{9}}}$$

$$\overline{Nu}_L = 1.09 \times 10^2$$

Coefficiente de transferencia de calor por convección

Se calculó con la Ecuación 2.44, considerando una altura $L=0.8$ [m] y conductividad térmica del aire de $0.0467 \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]$.

$$h_{conv.} = \frac{1.09 \times 10^2 * 0.0467 \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]}{0.8 [m]}$$

$$h_{conv.} = 6,74 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

A continuación, se procede a calcular la resistencia térmica por convección de acuerdo con la Ecuación 2.43.

$$R_{conv.} = \frac{1}{6.74 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]}$$

$$R_{conv.} = 0.14 \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right]$$

Resistencia térmica por radiación en el medio externo

En primer lugar, se calculó el valor del coeficiente de transferencia de calor por radiación Ecuación 2.42 y posteriormente se reemplazó en la Ecuación 2.41, donde la emisividad del hierro fundido gris es de 0.3.

$$h_{rad} = 0.3 * 5,67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 * K^4} \right] * (750^\circ C - 18^\circ C) * (750^\circ C^2 - 18^\circ C^2)$$

$$h_{rad} = 7.0 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

$$R_{rad.} = \frac{1}{7.0 \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right]}$$

$$R_{rad.} = 0.14 \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right]$$

Pérdida de calor a través de la plancha de cocción de alimentos

Finalmente, el calor perdido a través de la plancha de cocción de alimentos se calculó de acuerdo con la Ecuación 2.39.

$$\dot{Q}_{ppl} = \frac{1}{3.4 \times 10^{-4} \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right] + \frac{1}{\left(\frac{1}{0.14 \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right]} + \frac{1}{0.14 \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right]} \right)}} * 0.28 [m^2] * (750^\circ C - 18^\circ C)$$

$$\dot{Q}_{ppl} = 2.91 [kW]$$

3.3.3 Pérdida de calor por gases de combustión hacia la chimenea

El flujo de calor evacuado por los gases de combustión, a través de la chimenea, se calcula a partir de la Ecuación 2.16.

$$T_g: 135^\circ C$$

Propiedades a $T_b = 102^\circ C$

$$Cp_{gas} = 1009.2 \left[\frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \right]$$

$$\rho = 0.9 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$v = 2.17 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$\dot{Q}_{p,gases\ de\ combustión} = 2.17 \left[\frac{m}{s} \right] * 0.018[m^2] * 0.9 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 1009.2 \left[\frac{J}{kg * ^\circ C} \right] * 135^\circ C$$

$$\dot{Q}_{p,gases\ de\ combustión} = 4.8 [KW]$$

3.3.4 Pérdida de calor sensible por inquemados (ceniza)

El calor perdido debido a los productos no combustionados como la ceniza se calculó con la Ecuación 2.14.

$$\dot{Q}_{p,ceniza} = \frac{0.1 [kg]}{50\ min * \frac{60 [s]}{1 [min]}} * 0.96 \frac{kJ}{kg^\circ C} * (140^\circ C - 18^\circ C)$$

$$\dot{Q}_{p,ceniza} = 0.004[kW]$$

3.3.5 Calor de entrada suministrado por la combustión de la leña

En este caso, fue necesario calcular el poder calorífico de la leña mediante la Ecuación 2.7. El factor de conversión de masa de combustible seca a masa aprovechable, de acuerdo con el porcentaje de humedad de la leña, es:

$$FC = \frac{100\% - 30\%}{100\%}$$

$$FC = 0.7$$

Entonces,

$$C^a = 50\% * 0.7 = 35\%$$

Se repite el procedimiento anterior con cada elemento de la composición química de la madera detallada en la Tabla 2.9, obteniendo los siguientes resultados presentados en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Composición química de la madera utilizada

Componente	% Humedad de la leña
C^a	35,00%
H^a	4,20%
O^a	28,70%
N^a	0,70%
S^a	0,00%
A^a	1,40%
W^a	30%

(Fuente: Propia)

Posteriormente, se reemplazaron estos valores en la Ecuación 2.7.

$$PCi = 338 * 3 + 1025 * 4.2 - 108.5 * (28.7 - 0.7) - 25 * 30$$

$$PCi = 12.27 \left[\frac{MJ}{kg} \right]$$

Una vez obtenido el PCi , se calculó el calor suministrado por la combustión de la leña de acuerdo con la Ecuación 2.5, considerando que se combustionaron 4.5 kg de masa de leña en un periodo de tiempo de 50 min dentro de la cámara de combustión, dando como resultado un $\dot{m}_{leña}$ de $1.5 \times 10^{-3} \left[\frac{kg}{s} \right]$.

$$\dot{Q}_{comb. leña} = 1.5 \times 10^{-3} \left[\frac{kg}{s} \right] * 12271 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$\dot{Q}_{comb. leña} = 18.4 [KW]$$

3.3.6 Eficiencia de la cocina ecológica

Finalmente, se calculó el rendimiento térmico de la cocina ecoeficiente con la Ecuación 2.47. Adicionalmente, la Tabla 3.10 muestra los resultados para dos tipos de fuentes de combustible como son el pino y el ciprés.

$$\eta_t = \frac{\dot{Q}_{calentar H_2O} + \dot{Q}_{carne cerdo}}{\dot{Q}_{comb. leña}} \times 100\%$$

$$\eta_t = \frac{3.8 [kW] + 1.13 [kW]}{18.40 [kW]} \times 100\%$$

$$\eta_t = 27\%$$

Como se puede observar, la cocina construida presenta una eficiencia térmica del 27%, la que es menor al 30% supuesto como valor de diseño. Este valor es menor debido a que parámetros como la temperatura ambiente fueron tomados como constantes y no variables en el tiempo.

Tabla 3.10 Resumen de los cálculos para leña de eucalipto y pino

Componente	Eucalipto	Pino
Potencia de ingreso	18,4 [kW]	17,4[kW]
Calor suministrado por el combustible	18,4 [kW]	17.4 [kW]
Pérdidas de calor	14.3 [kW]	13,8[kW]
Pérdida en las paredes	6.61 [kW]	5.68[kW]
Pérdida en la plancha de cocción	2.91 [kW]	2.82[kW]
Pérdida en los gases de combustión	4.8 [kW]	5,2[kW]
Pérdida en la ceniza	0,004 [kW]	0,007[kW]
Calor útil	4,93 [kW]	3,81 [kW]
Calor útil para hervir los recipientes de agua	3,8 [kW]	3,04 [kW]
Calor útil hornear carne	1,13 [kW]	0,77 [kW]
Rendimiento	27%	21%

(Fuente: Propia)

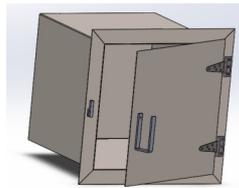
3.4 CONSTRUCCIÓN DE LA COCINA ECOEFICIENTE.

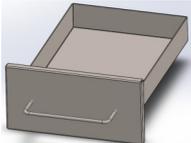
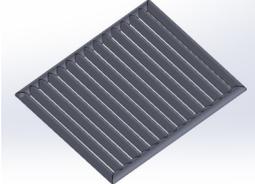
Una vez obtenido las dimensiones para la cocina ecoeficiente y adquirido los elementos y materiales necesarios se procede a realizar construcción. Para esto se presentará el proceso para la construcción de los elementos metálicos y la construcción de la estructura de ladrillo y colocación de partes

3.4.1 Elementos metálicos

Con respecto a los elementos metálicos, estos fueron construidos en un taller metalmecánico que se dedica a la elaboración de este tipo de trabajos según los planos que se les entregó, lo cuales se encuentran en los anexos. En la Tabla 3.11 se muestra los materiales y procesos utilizados para su construcción.

Tabla 3.11. Elementos Metálicos

Nombre	Imagen referencial	Materiales	Proceso de elaboración.
Horno		<ul style="list-style-type: none"> - Plancha de acero inoxidable. espesor: 1.5mm - Ángulos de 40x40 mm - Bisagras 	<ul style="list-style-type: none"> - Cortar, doblar y unir la plancha de acero. - Realizar el marco con los ángulos. - Unir el cuerpo del horno con el marco - Colocar la tapa con ayuda de las bisagras - Soldar manija y traba

Plancha con hornillas		- Fundición gris	- Fundición
Cenicero		- Plancha de acero inoxidable. espesor: 1.5mm - Varilla lisa Ø8 mm	- Cortar, doblar y unir la plancha de acero del cuerpo y tapa del cenicero.
Chimenea		- Plancha de acero galvanizado espesor: 1.5mm - Varilla lisa Ø8 mm - Pletina 15 mm espesor: 4mm	- Cortar, doblar y unir la plancha de acero. - Unir ducto y cono soldando las pletinas - Colocar la válvula mariposa
Rejilla		- Varilla corrugada Ø5/16"	- Cortar la varilla - Soldar las varillas cortadas

(Fuente: Propia)

3.4.2 Construcción de la estructura de ladrillo y colocación de partes

Se construirá las paredes de ladrillo de la cocina con las medidas indicadas en los planos de construcción. En la Tabla 3.12 se muestra los materiales que fueron necesarios para la construcción de cada uno de los elementos de la estufa ecoeficiente.

Tabla 3.12. Elementos Metálicos

Material	Cantidad
Ladrillo jaboncillo 20x10x6 cm	170
Ladrillo refractario 20x10x2.5cm	12
Costal de arena negra	4
Cemento	2
Costal de arena azul	2
Carretilla de ripio	2
Tablones de madera	3

(Fuente: Propia)

Las herramientas y equipos necesarios para la construcción fueron principalmente los utilizados en albañilería. Por otro lado, para la unión de los ladrillos se utilizó un mortero, el cual es una mezcla de agua, cemento y arena. A continuación, se presenta el proceso de construcción de cada uno de sus elementos.

Base

Para la construcción de la base se debe seguir el siguiente proceso de construcción:

1. Limpiar y nivelar el piso.
2. Trazar en el piso las medidas indicadas en el plano de construcción que fueron utilizados como guía en la colocación de los ladrillos.
3. Colocar la primera fila de ladrillos tal como se muestra en la Figura 3.4.



Figura 3.4. Colocación de la primera fila de ladrillos.

(Fuente: propia)

4. Colocar las siguientes filas de ladrillo considerando las dimensiones de la cavidad de la cámara de ceniza, la puerta de la cámara de combustión y la altura de la plancha con hornillas.
5. Verificar medidas según los planos de construcción tal como se muestra en la Figura 3.5.



Figura 3.5. verificación de medidas

(Fuente: propia)

6. Para el piso del canal de circulación de los gases calientes, realizar una base de concreto.
7. Poner el encofrado de madera y asegurarlo bien para que soporte el peso del concreto como se muestra en Figura 3.6.
8. Colocar el concreto y nivelar a la altura adecuada.
9. Dejar secar durante 1 día completo.



Figura 3.6. Encofrado de seguridad
(Fuente: propia)

Cámara de combustión

La construcción de la cámara de combustión requirió de los siguientes pasos:

1. Colocar los ladrillos refractarios según las medidas indicadas en el plano de construcción como se muestra en la Figura 3.7.
2. Rellenar los lados laterales de la cámara de combustión con ladrillos comunes y tierra.
3. Instalar la puerta de la cámara de combustión



Figura 3.7. Tronzado de las astillas de leña
(Fuente: propia)

Horno

1. Alinear las paredes de ladrillos hasta la altura indicada en el plano.
2. Poner el encofrado de madera de manera que sirva como soporte para realizar la parte superior curva del horno como se puede observar en la Figura 3.8.



Figura 3.8. Encofrado para sostener la cúpula del horno

(Fuente: propia)

3. Completar las filas con ladrillos.
4. Poner los ladrillos de la parte superior del horno, considerando el espacio de colocación del ducto de la chimenea tal como se muestra en la Figura 3.9.
5. Colocar la mezcla de macilla en los espacios entre ladrillos.



Figura 3.9. Formación de la cúpula del horno

(Fuente: propia)

Chimenea

1. Ubicar el ducto de la chimenea en la parte superior del horno, según la Figura 3.10.
2. Verificar que se encuentra perpendicular a la superficie superior del horno
3. Sellar la unión del ducto y la cocina con macilla.



Figura 3.10. Colocación de la chimenea
(Fuente: propia)

Cocina finalizada

1. Sellar internamente con la misma mezcla formada con anterioridad y en las mismas proporciones. Esto con el fin de evitar la fuga de los gases de combustión.
2. Colocar los elementos metálicos restantes en sus respectivos lugares y fijarlos.
3. Limpiar externamente la cocina

El resultado final de la construcción de la cocina ecoeficiente se puede observar en la Figura 3.11.



Figura 3.11 Cocina ecoeficiente
(Fuente: propia)

3.5 Análisis de costos

Para determinar el costo total de la cocina ecoeficiente, se realizó un análisis de costos directos e indirectos. Por una parte, la Tabla 3.13 muestra los materiales y la Tabla 3.14 muestra los elementos metálicos que se enviaron a construir a una metalmecánica dedicada a este tipo de trabajos en base a los planos presentados en el anexo VI.

Tabla 3.13. Materiales Utilizadas

Material	Cantidad	Precio unitario [USD]	Precio total [USD]
Ladrillo jaboncillo	170	0.50	85
Ladrillo refractario	12	1.25	15
Costal de arena negra	4	2.5	10
Cemento	2	8.2	16.4
Costal de arena azul	2	2.5	5
Carretilla de ripio	2	2.5	5
Tablas	3	2.1	6.3
Subtotal (\$)			142.7

(Fuente: Propia)

Tabla 3.14. Elementos fabricados

Elemento	Cantidad	Precio unitario [USD]	Precio total [USD]
Horno	1	120	120
Cenicero	1	30	30
Chimenea	1	80	80
Puerta de cámara de combustión	1	50	50
Rejilla	1	10	10
Plancha con hornillas	1	120	120
Subtotal			410

(Fuente: Propia)

Por otro lado, el costo de mano de obra corresponde al utilizado para la construcción de las paredes y el montaje de los elementos metálicos. Se utilizó el trabajo de 1 persona durante 3 días, con un valor de 60 USD diarios, dando como resultado un valor total de \$180. En la Tabla 3.15 se presenta el valor total de la sumatoria de los costos directos.

Tabla 3.15 Costos de la construcción de la cocina ecológica

Costo	Valor [USD]
Materiales directos	142.7
Elementos fabricados	410
Mano de obra	180
Subtotal	732.7

(Fuente: Propia)

Po otro lado, los costos indirectos se presentan en la Tabla 3.16.

Tabla 3.16 Costos indirectos

Elemento/Razón	Valor [USD]
Disco de corte	4.25
Transporte de materiales	20
Pintura	12.5
Subtotal	36.75

(Fuente: Propia)

Finalmente, la Tabla 3.17 presenta el costo total, producto de la suma de los costos directos e indirectos.

Tabla 3.17. Costos totales

Costo	Valor [USD]
Gastos directos	732.7
Gastos indirectos	36.75
Total	769.45

(Fuente: Propia)

3.6 Prueba y análisis de resultados

2.3.1 Prueba de funcionalidad y dimensiones

En la Tabla 3.18 se tabulan los datos de las dimensiones generales de la estufa ecoeficiente de acuerdo con el cuerpo de la estufa, cámara de combustión, chimenea y horno.

Tabla 3.18 Dimensiones teóricas y reales de la cocina ecoeficiente

Parámetro	Longitud	Dimensión teórica	Dimensión real
Cuerpo de la estufa	Largo [mm]	1630	1660
	Alto [mm]	1400	1400
	Fondo [mm]	580	600
	Espesor del ladrillo [mm]	36	60
Cámara de combustión	Ancho [mm]	35	35
	Alto [mm]	35	35
	Fondo [mm]	40	40
Chimenea	Diámetro [mm]	127 (ø5 in)	152 (ø 6 in)
	Alto [mm]	2500	2500
Horno	Ancho [mm]	350	350
	Alto [mm]	350	350
	Fondo [mm]	350	350

(Fuente: Propia)

De acuerdo a los datos tabulados en la Tabla 3.18 , la dimensión de diseño teórica, para el cuerpo de la estufa ecoeficiente fue de 1630x1400x580 [mm] (Largo, Ancho, Fondo), con un espesor de ladrillo de aproximadamente 36 milímetros, debido a que en el mercado , solo cuentan con espesores de ladrillo mayores a 60 milímetros, se opta por seleccionar dicho espesor de ladrillo ocasionado así que se adicione 30 milímetros a la dimensión del largo teórico de la cocina , obteniendo como resultado una dimensión real de 1660 milímetros. Respecto a los valores de altura y fondo de la cocina ecoeficiente las dimensiones se conservaron, cumpliendo así que la cocina, pueda ser instalada de acuerdo condiciones propuestas por el usuario en la Tabla 2.1 en una habitación de 3 metros de largo, 3 metros de ancho y 2.5 metros de alto.

El diámetro de diseño inicial de la chimenea fue de 12.7 centímetros, pero debido a que el área de salida de los gases de combustión debe tener como mínimo una sección de 122.32 [cm²] por lo tanto se seleccionó un diámetro de 15.2 centímetros con un área de salida de los gases calientes de 152.4 [cm²], logrando así que el tiro de los gases de combustión no retorne hacia la cámara de combustión.

En base con la Tabla 3.19, se logró evidenciar que, en las paredes laterales del cuerpo de la cocina, no se registra ninguna abertura que pueda incursionar a la fuga de los gases de combustión, esta prueba se realizó, regulando la válvula mariposa incorporada en el ducto de la chimenea en un cuarto de vuelta. Seguidamente se cerró completamente la válvula mariposa y se logró identificar que los gases de combustión tienden a salir por pequeñas aberturas en la puerta de la cámara de combustión, horno y plancha de cocción.

La temperatura superficial externa en la puerta de la cámara de combustión tiene un valor 135 °C, esto se debe a que la plancha metálica utilizada para su fabricación fue en acero ASTM A36, por lo tanto, para evitar que el usuario sufra quemaduras se debe incluir aislantes térmicos en fibra de vidrio en los elementos manipulados directamente por el usuario.

Tabla 3.19 Registro de prueba de funcionalidad

Registro de prueba de funcionalidad - Cocina ecoeficiente			
Datos técnicos		Medida	Unidad
Masa de leña		3	Kg
Tiempo de prueba		45	min
Temperatura ambiente		16	°C
Temperatura interna máxima de la cámara de combustión		750	°C
Temperatura externa en las paredes laterales de la cámara de combustión		31	°C
Temperatura externa puerta de la cámara de combustión		130	°C
Temperatura externa en la puerta del horno		85	°C
Temperatura externa en la pared del ducto de la chimenea		135	°C
Velocidad de salida gases de la combustión		1.5	m/s
Lista de verificación		Cumple	No cumple
1	Los accesorios metálicos de la cocina ecoeficiente han sido, ubicadas e instaladas correctamente	X	
2	Facilidad de encendido de la leña en la cámara de combustión	X	
3	Las paredes laterales de ladrillo refractario presentan fisuras o aberturas		X
4	La válvula reguladora incorporada en el ducto de la chimenea, esta correctamente ubicada en instalada	X	
5	La temperatura externa, en la puerta de la cámara de combustión y el horno es menor a 100 °C	X	
6	La temperatura externa en la pared de la cámara de combustión es mayor a 40 °C		X
7	El tiro de los gases de combustión provoca que los gases calientes(humo), retornen hacia la cámara de combustión		X
8	El flujo de calor de los gases de combustión se distribuye de manera uniforme hacia la plancha de cocción y paredes laterales del horno.		X

(Fuente: Propia)

3.6.1 Prueba de ebullición de agua

La Tabla 3.20 muestra los resultados de la prueba de ebullición de agua tanto para la fase 1 como para la fase 2, cuyos valores se calcularon tomando como referencia los datos de la olla número 1 hasta alcanzar el punto de ebullición.

De acuerdo con los datos tabulados en la Tabla 3.20, se puede observar que la olla número 2 fue la primera en alcanzar la temperatura de ebullición, en un tiempo de 18 minutos, aproximadamente; mientras que, en la fase 2, el mismo recipiente alcanzó la temperatura de ebullición en 13 minutos. Es decir, la variación del tiempo ebullición del agua, correspondiente a la fase 1 y fase 2, es de 5 minutos. Esto indica que en la fase

2, el tiempo de ebullición disminuye debido a que existe un mejor aprovechamiento del calor transferido por radiación y convección desde la llama y los gases calientes hacia la olla número 2.

Tabla 3.20. Resultados de la prueba de ebullición del agua

PRUEBA DE EBULLICIÓN DE AGUA				
Tipo de cocina	Cocina a leña	Fecha	06/12/2022	
Tipo de leña	Eucalipto	Ubicación	Amaguaña	
Fase 1 (calentamiento con inicio de cocina en frío)				
	Inicio		Final	
Masa de leña	5	Kg	1.4	kg
Temperatura olla 1	14.75	°C	75	°C
Temperatura olla 2	14.5	°C	91	°C
Temperatura olla 3	13.5	°C	45	°C
Masa de agua olla 1	5	Kg	4.6	kg
Masa de agua olla 2	5	Kg	4.1	kg
Masa de agua olla 3	5	Kg	4.5	kg
Tiempo	0	Min	18	Min
Fase 2 (calentamiento con inicio de cocina en caliente)				
	Inicio		Final	
Masa de leña	5	Kg	1.6	kg
Temperatura olla 1	15	°C	80	°C
Temperatura olla 2	14.7	°C	91	°C
Temperatura olla 3	14.5	°C	51	°C
Masa de agua olla 1	5	Kg	4.2	kg
Masa de agua olla 2	5	Kg	3.9	kg
Masa de agua olla 3	5	Kg	4	kg
Tiempo	0	Min	13	Min

(Fuente: Propia)

Por otro lado, en los recipientes 1 y 3 se puede evidenciar que la temperatura interna del agua tiene un valor de 75 °C y 45 °C; mientras que en la fase 2, el agua en los recipientes 1 y 3 alcanzan temperaturas de 80°C y 51°C, respectivamente, debido a que flujo de calor de gases calientes, producto de la combustión de la leña, no es uniforme a largo de la plancha de cocción, ya que tienden a desviarse inmediatamente hacia las paredes laterales del horno y el ducto de salida de la chimenea.

Adicionalmente, la Tabla 3.21 permite observar que en la fase 1, en un tiempo de 18 minutos, se ha consumido aproximadamente 3.6 kilogramos de leña; mientras que en la fase 2, en un tiempo de 13 minutos, se ha consumido aproximadamente 3.2 kilogramos de leña. Estos valores se obtuvieron a partir de la diferencia entre la masa inicial de carga (5 kilogramos de leña) y la masa de carbón residual de 1.4 y 1.6 kilogramos, respectivamente, según la Tabla 3.20.

Finalmente, de acuerdo con el análisis anterior, se determinó que la eficiencia térmica en la cocina ecoeficiente, correspondiente a la fase 1, fue de 18%; mientras que en la fase 2, de 25.4 %. Esto se debe a que el tiempo de ignición y velocidad de carbonización de la leña en la fase 2 es más elevado; ya que, en el interior de la cámara de combustión, se almacenó el calor de combustión producido por efectos de prueba correspondiente a la fase 1.

Tabla 3.21. Resultados de la prueba de ebullición del agua

Resultados obtenidos en la prueba de ebullición				
	Fase 1 (inicio en frío)		Fase 2 (inicio en caliente)	
Tiempo de ebullición	18	min	13	Min
Eficiencia térmica de la cocina	18.00	%	25.4	%
Consumo másico de leña	3.6	kg	3.2	kg
Potencia de la cocina	42.53	kW	52.34	kW

(Fuente: Propia)

3.6.2 Prueba de cocción de alimentos

Para determinar el tiempo de cocción de los alimentos se realizó una gráfica comparativa de la temperatura interna del agua versus el tiempo de duración de la prueba, en tres tipos de cocina tales como: cocina ecoeficiente a leña, cocina GLP y cocina de inducción. Además, en la Tabla 3.22 se detallan los recipientes que se utilizaron exclusivamente para la cocina ecoeficiente a leña y cocina GLP.

Tabla 3.22. Características de los recipientes

Características	Recipiente 1	Recipiente 2	Recipiente 3
Diámetro [cm]	24	24,5	20
Altura [cm]	14	15	14
Espesor [mm]	1		
Material	Aluminio	Acero inoxidable	Aluminio
Capacidad [litros]	5		

(Fuente: Propia)

Con respecto a la prueba de cocción de los alimentos en la cocina de inducción, se utilizaron tres recipientes especiales de base magnética, cuyas características se presentan en la Tabla 3.23.

Tabla 3.23. Características de los recipientes de la cocina de inducción

Características	Recipiente 1	Recipiente 2	Recipiente 3
Diámetro [cm]	17,5	21,5	25,4
Altura [cm]	10	11	14
Espesor [mm]	2	2	2
Material	Acero inoxidable AISI 304	Acero inoxidable AISI 304	Acero inoxidable AISI 304
Capacidad [litros]	2	3	4

(Fuente: Propia)

En primer lugar, la Figura 3.12 muestra los resultados de la prueba de cocción para la cocina ecoeficiente en la fase de alta potencia en frío. Como se puede observar, los tres recipientes alcanzan el punto de ebullición en momentos diferentes. De esta forma, es el segundo recipiente el que alcanza la temperatura de ebullición en primer lugar en aproximadamente 15 minutos versus los 20 minutos que se demora el recipiente número uno. Sin embargo, el recipiente número tres no alcanza el estado estable durante la duración de la prueba, alcanzando los 80°C.

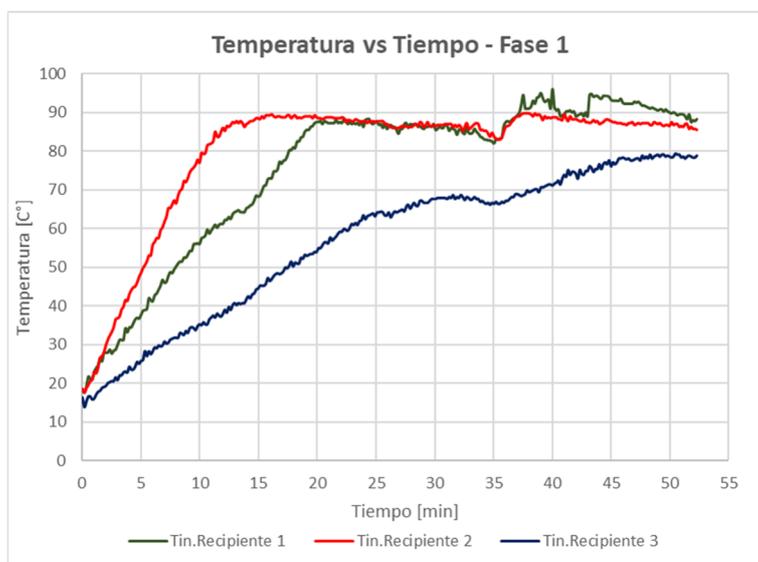


Figura 3.12. Prueba de cocción controlada – inicio de cocina ecoeficiente en frío

(Fuente: Propia)

A continuación, la Figura 3.13 presenta los resultados para la fase de alta potencia en caliente. Al igual que en el caso anterior, el recipiente uno y el recipiente dos son los primeros en alcanzar el estado estable, es decir, el punto de ebullición. Además, la Figura 3.13 muestra que, en ambos casos, se llega a dicho estado en aproximadamente 20 minutos, mientras que el tercer recipiente no alcanza el punto de ebullición durante los primeros 40 minutos de duración de la prueba.

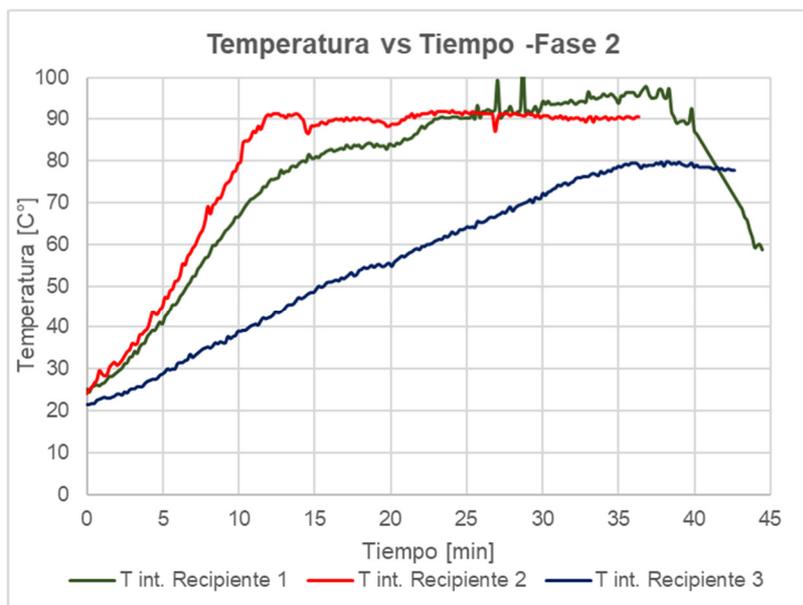


Figura 3.13. Prueba de cocción controlada – inicio de cocina en caliente

(Fuente: Propia)

Por otra parte, la Figura 3.14 muestra los resultados para la cocina de GLP. A diferencia de los dos casos anteriores, el recipiente número dos es el que llega por último al estado estable; sin embargo, en un tiempo de aproximadamente 45 minutos. Un tiempo mayor que en los dos primeros casos. Además, el recipiente número uno y dos alcanzan primeros el estado estable, en ambos casos, en un tiempo de 20 minutos aproximadamente. En este caso, el recipiente número 3 fue el primero en alcanzar el punto de ebullición.

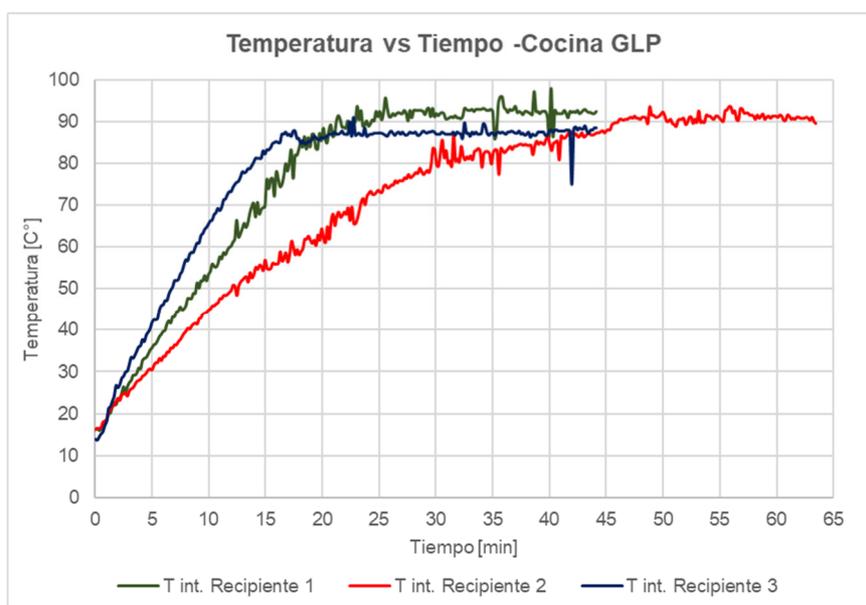


Figura 3.14. prueba de cocción controlada - cocina GLP

(Fuente: Propia)

Finalmente, la Figura 3.15 permite individualizar los resultados de la prueba de cocción para una cocina de inducción. Cabe mencionar que como se mostró en la Tabla 3.23, los recipientes utilizados en esta prueba difieren de los usados en las primeras tres pruebas. Sin embargo, se puede notar que los tres recipientes presentan un comportamiento semejante, llegando a un punto de estabilización en 15 minutos para los recipientes uno y dos en comparación con los 30 minutos del recipiente número tres. Este comportamiento es completamente diferente al presentado por los recipientes de las primeras tres pruebas. A partir de los 30 minutos, el comportamiento de los tres recipientes es constante en el tiempo, en un valor de 92°C, temperatura de ebullición.

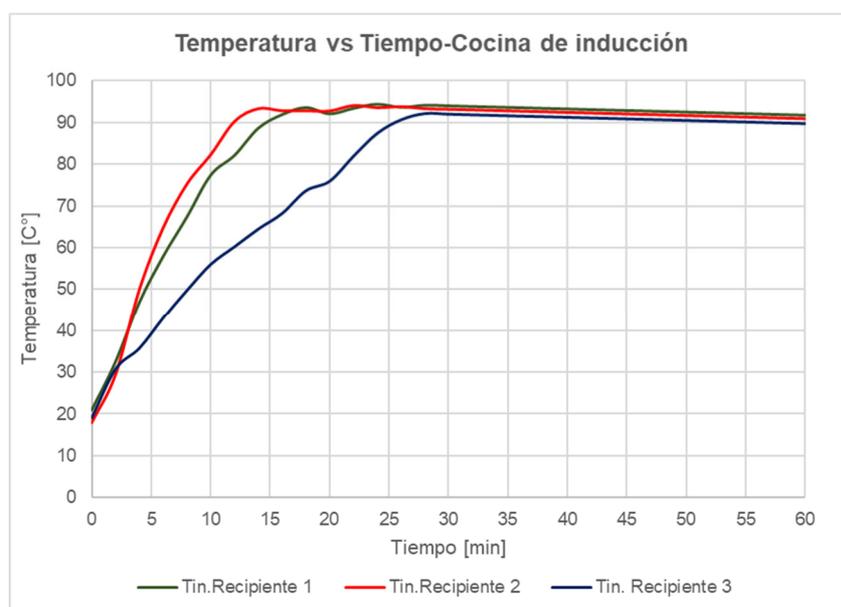


Figura 3.15. prueba de cocción controlada – cocina de inducción
(Fuente: Propia)

De acuerdo con los datos obtenidos de las Figuras 3.12, 3.13, 3.14 y 3.15, se tabularon los datos de tiempo de cocción acorde a el tipo de recipiente y alimento de cocción, según se muestra en la Tabla 3.24, en la cual se puede observar que las porciones de alimento que mayor tiempo tardaron en cocerse, a una temperatura de 91 °C, fueron el 1 kilogramo arroz con un tiempo promedio de 24 minutos y los 0.5 kilogramos de papas con un tiempo promedio de cocción de 25 minutos mientras que la porción de alimento que menor tiempo tardó en cocer es la porción de 0.11 kilogramos de tallarín, con un tiempo de cocción promedio de 21 minutos, debido a que se requiere una menor cantidad de energía para cocer alimentos de bajo contenido másico.

Cabe recalcar que para realizar las pruebas de cocción de los alimentos en la cocina de GLP e inducción fueron realizadas bajo condiciones normales de operación de acuerdo

con el usuario; es decir, la apertura del flujo de gas en las tres hornillas de la cocina GLP y los quemadores de la cocina de inducción fue al 100 %.

En los recipientes 1 y 2, debido a que tienen un mayor diámetro de fondo respecto al recipiente 3, tienen una mayor probabilidad de que el agua contenida en las mismas llegue a la temperatura de ebullición en un menor tiempo, debido a que su área de exposición es mayor, el cual aprovecha de mejor manera flujo de calor por radiación y convección de los gases calientes y el fuego.

Tabla 3.24. Resultados de la prueba de cocción

Datos obtenidos Prueba de Cocinado Controlado			
Tipos de cocinas	Ecoeficiente, GLP e Inducción	Fecha	07/12/2022
T. ambiente [°C]	14	Ubicación	Amaguaña
Cocina ecoeficiente			
Tipo de prueba	Inicio en frío	Cantidad de leña [kg]	5
Recipiente	Producto	Cantidad [kg]	Tiempo de cocción [min]
1	Tallarín	0,11	22
2	Arroz	1	24
3	Papas	0,5	24
Tipo de prueba	Inicio en caliente	Cantidad de leña [kg]	5
Recipiente	Producto	Cantidad [kg]	Tiempo de cocción [min]
1	Tallarín	0,11	20
2	Arroz	1	27
3	Papas	0,5	21
Cocina tradicional de GLP			
Tipo de prueba	Condiciones normales	Combustible	GLP
Recipiente	Producto	Cantidad [kg]	Tiempo de cocción [min]
1	tallarín	0,11	22
2	Arroz	1	25
3	Papas	0,5	28
Cocina de inducción			
Tipo de prueba	Condiciones normales	Conexión	Eléctrica - Punto monofásico
Recipiente	Producto	Cantidad [kg]	Tiempo de cocción [min]
1	tallarín	0,11	21
2	Arroz	1	23
3	Papas	0,5	27

(Fuente: Propia)

3.6.3 Prueba de temperaturas

Las pruebas de temperatura permiten controlar que la energía entregada por el combustible sea el adecuado para la correcta cocción de los alimentos; además, permite monitorear posibles partes de la cocina que puedan ser consideradas un riesgo para la integridad del usuario de ésta. Por esta razón, la prueba de temperatura fue llevada a cabo sea en el interior de la cámara de combustión, que en los recipientes con agua y dentro del horno; además, se monitoreó la temperatura de los gases de combustión. De esta forma, la Figura 3.16, Figura 3.17 y Figura 3.18 presentan la tendencia que siguió cada una de las temperaturas mencionadas, anteriormente.

En primer lugar, la Figura 3.16 muestra los resultados para la prueba de cocción después de que la cocina no ha sido utilizada durante toda la noche y, por lo tanto, con la temperatura de la cámara de combustión similar a la temperatura ambiente de Amaguaña. Como puede observarse, el tiempo de calentamiento sea de la cámara de combustión, el horno y los recipientes se prolonga. De hecho, el verdadero calentamiento inicia aproximadamente a los 18 minutos después de haber sido encendida la leña. También, se puede notar que la cámara de combustión alcanza una temperatura máxima de aproximadamente 1000°C; mientras que el horno, 400°C. Finalmente, el agua llega a la temperatura de ebullición de 92 °C en alrededor de 35 minutos.

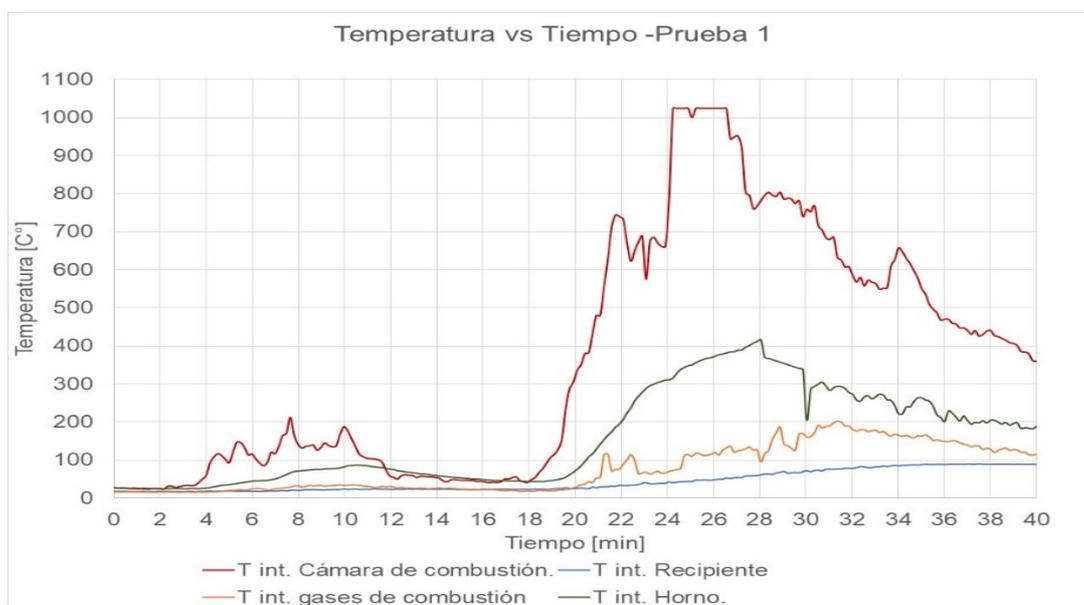


Figura 3.16. Prueba de temperatura con la cámara de combustión completamente en frío
(Fuente: propia)

Por otro lado, la prueba número dos se llevó a cabo mientras que la cámara de combustión aún no había perdido completamente el calor adquirido de la cocción anterior. En la Figura 3.17 se puede notar que, a diferencia del caso anterior, el tiempo de calentamiento de las diferentes partes de la cocina se calientan en menor tiempo pues a partir de los 8 minutos, aproximadamente, la temperatura de la cámara de combustión incrementa hasta un máximo de 850°C mientras que la del horno hasta casi 400°C, al igual que en el caso anterior. Además, la temperatura del agua alcanza el punto de ebullición en aproximadamente 21 minutos versus los 35 minutos del caso anterior.

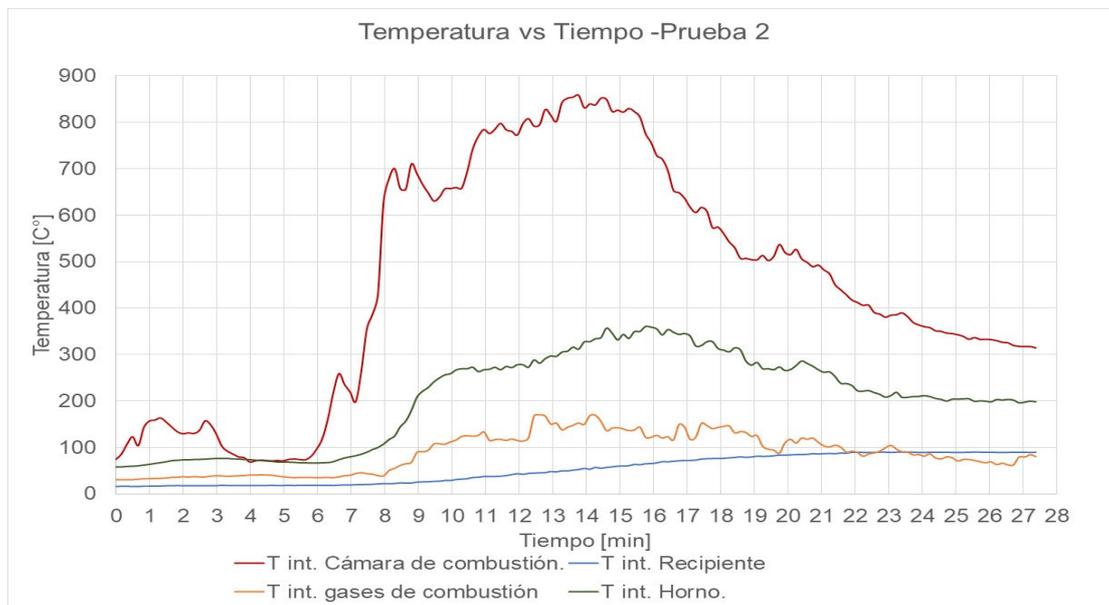


Figura 3.17. Prueba de temperatura con la cámara de combustión precalentada
(Fuente: propia)

Adicionalmente, la Figura 3.18 muestra los resultados de la prueba de temperatura cuando la cámara de combustión es utilizada inmediatamente después de haber terminado la preparación de los primeros alimentos. Por esta razón, el periodo de calentamiento es bajo y los elementos se calientan inmediatamente. En este caso, la temperatura de la cámara de combustión alcanza los 850°C. sin embargo, el tiempo de ebullición del agua es de 17 minutos, apenas 4 minutos antes que con el horno precalentado como en la prueba 2.

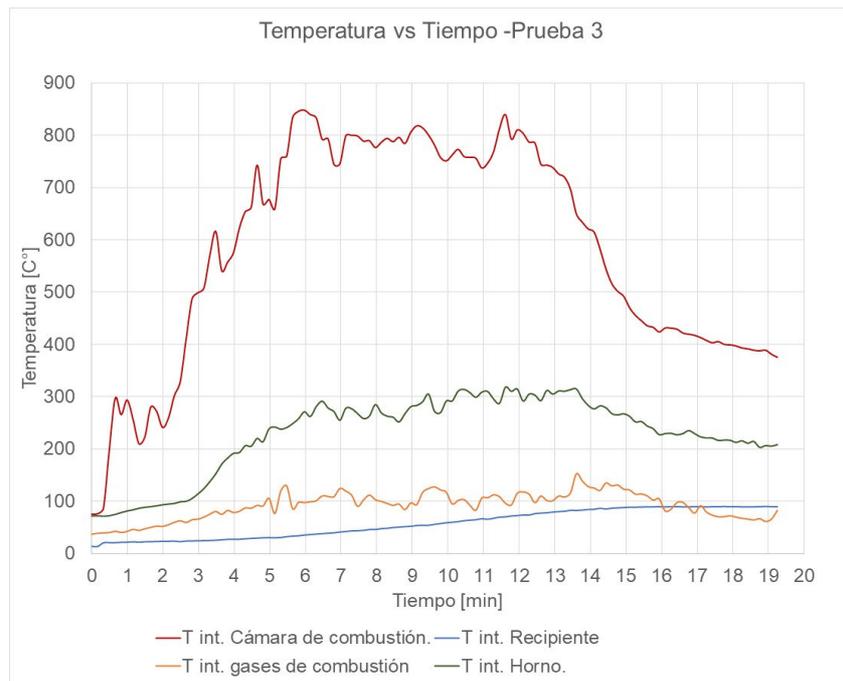


Figura 3.18. Prueba de temperatura con la cámara de combustión completamente caliente
(Fuente: propia)

Finalmente, puede observarse que en las tres pruebas la tendencia general de cada uno de los elementos es la misma. En primer lugar, la cámara de combustión es la que alcanza la mayor temperatura, dentro del rango entre los 800 y 100°C. Este resultado es coherente pues es en este lugar donde ocurre la combustión de la leña y, por lo tanto, la liberación de energía. El siguiente elemento en calentarse es el horno, el cual alcanza un rango de temperaturas de 300 y 400°C. Luego, son los gases de combustión los que alcanzaron un rango de temperaturas entre 100 y 200°C, temperaturas muy altas que representan un peligro para la integridad de la persona que se encarga de cocinar. El hecho que las temperaturas alcanzadas por la cocina sean tan altas, hace necesario que se tomen medidas de seguridad alternativas y mejoras de diseño para evitar problemas como quemaduras.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Se diseñó y construyó una cocina ecoeficiente para una familia de 5 miembros, en la cual se evidencia que mientras se realiza la cocción de alimentos los gases de combustión no entran en contacto directo con la persona. Además, reduce la pérdida de energía al ambiente y disminuye el consumo de leña.
2. El diseño de esta cocina ecoeficiente se llevó a cabo asumiendo una eficiencia del 30% para su dimensionamiento. Sin embargo, la eficiencia real de la cocina es de 27%, por lo cual se determina un error de 10% entre el valor teórico y el valor real obtenido. Este error se presenta debido a que en el modelo teórico se utilizaron propiedades de tablas que en la realidad tienen valores diferentes.
3. Realizada la prueba dimensional y comparando estos valores con los teóricos se observa una variación en algunas de las medidas. Sin embargo, esta diferencia no afectó al funcionamiento de la cocina, al contrario, debido a que se utilizó un ladrillo más ancho se pudo reducir la pérdida de calor mejorando así la eficiencia de la cocina.
4. Se analizaron los costos asociados a la construcción de la cocina ecoeficiente dando un total de 770 dólares, el cual es un precio competitivo en el mercado considerando que se puede encontrar cocinas similares en precios entre 700 y 800 dólares. Además, este precio puede variar si se realiza un cambio en las dimensiones, los materiales utilizados en la construcción o si se construyen una mayor cantidad de cocinas.
5. Se realizaron pruebas de ebullición de agua para comparar los tiempos de calentamiento entre la cocina ecoeficiente con una cocina tradicional GLP, en el cual se obtuvo que el tiempo requerido para hervir 5 litros de agua en la cocina ecoeficiente tarda dos minutos 2 minutos menos en comparación a la cocina GLP mientras que cuando la cocina ecoeficiente inicia en caliente el tiempo de ebullición del recipiente tarda 5 minutos menos respecto al tiempo de ebullición en la cocina GLP, esto se debe a que el tiempo de ignición y velocidad de combustión de la leña aumenta por el calor almacenado en la paredes de la cámara de combustión.
6. Se realizaron pruebas de cocción en la cocina ecoeficiente, GLP e inducción, en el cual se obtuvo que las porciones de alimentos de tallarín, arroz y papas en la cocina ecoeficiente tardan un menor tiempo en cocerse con respecto a las cocinas tradicionales en un intervalo de tiempo de 1 a 4 minutos, además se evidenció que la cocina ecoeficiente cuenta con la ventaja de que tanto el horno como la plancha

de cocción tienden a enfriarse más lento, lo cual permite mantener los alimentos calientes por mayor tiempo.

Recomendaciones

- 1) Se recomienda la construcción de esta cocina, debido a que presenta un bajo consumo de leña, menor contaminación ambiental y tiempos más rápidos de cocción de alimentos.
- 2) Para facilitar el proceso de combustión se recomienda cortar la leña en pedazos pequeños para reducir el tiempo de calentamiento de la cocina y se pueda realizar la preparación de los alimentos más rápido.
- 3) Debido a que la cocina presenta zonas con temperaturas elevadas es recomendable incluir protecciones para los elementos que son manipulados directamente por el usuario y colocar aislantes térmicos en los elementos metálicos.
- 4) En el caso que se desee mantener los alimentos calientes por mayor tiempo se recomienda colocarlos en el interior del horno con la finalidad de aprovechar el calor remanente producto de la combustión de la leña una vez finalizado la cocción de los alimentos.
- 5) Para un futuro trabajo se recomienda realizar un estudio que determine la factibilidad de incorporar un serpentín para el calentamiento de agua dentro de la cocina de manera que se pueda aprovechar de mejor manera el calor obtenido en la cámara de combustión y mejorar la eficiencia de la cocina.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, P., & Harold, J. (13 de 06 de 2011). Estudio de cocinas mejoradas empleando leña y bosta como combustible. *Pontificia Universidad Católica del Perú*, pág. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/571>.
- Amesti. (2016). *Manual del usuario cocinas tradicionales a Leña*. Obtenido de <https://www.studocu.com/cl/document/universidad-de-las-americas-chile/gestion-alimentaria/manual-cocinas-tradicionales-amesti-22042019/25307152>
- Anónimo. (Agosto de 2020). *Jenergy Air*. Obtenido de <https://jenergyair.com/how-to-tell-if-your-air-ducts-are-undersized/>
- Arroyo Vinuesa, J. S., & Reina Guzmán, W. S. (06 de 10 de 2016). Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor. *Universidad Politécnica Salesiana*, pág. <https://doi.org/10.17163/ings.n16.2016.03>.
- Bettin Sánchez, C. P., & Galvis Padilla, J. P. (2017). Implementación y evaluación de cocinas ecológicas en la vereda quebrada del medio, corregimiento de pueblo bujo, zona rural del municipio de monterí.
- Bilbao, F. (2018). *Metrogas*. Obtenido de http://www.metrogas.cl/gnl_movil/asesoria_tecnica_1
- Çengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa: fundamentos y aplicaciones, cuarta edición*. McGraw-Hill Interamericana.
- Cengel, Y., & Boles, M. (2015). *Termodinámica*. Mexico: McGraw-Hill Education.
- Chiliquinga Cando, L. S., & Jiménez León, M. P. (2015). Análisis del comportamiento energético y mejora en el rendimiento de un biocalefón de aplicación múltiple por combustión de Biomasa seca.
- Climate Data*. (s.f.). Obtenido de Clima Quito (Ecuador): <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-pichincha/quito-1012/>
- Climatización Alcazar. (2018). *MANUAL DEL USUARIO ESTUFAS A LEÑA*. Chile.
- Cocinas ecologicas Amesti. (2017). *Manual de usuario cocina a leña tradicionales*. Santiago - Chile .

- Díaz, R., Gabriel, R., Molina, O., & Marcos, S. (2003). *La estufa PAtsari*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.stoves.bioenergylists.org/files/ManualPatsari.pdf
- Endara, M. (2022). *Cocina Portátil Rural Ecológica KOYLLOR*. Obtenido de <http://cocinasmejoradasperu.org.pe/tienda/cocina-portatil-rural-ecologica-koyllor/>
- Estufas MX*. (2022). Obtenido de <https://estufasmx.com/estufa-rocket-o-cohete/>
- FARO. (2022). *Cocinas mejoradas*. Obtenido de <http://faro.com.pe/product-details-cocinasmejoradas/>
- García Pacheco, G. E., & Pañi Riera, L. X. (2013). *Optimización de la eficiencia energética de la leña (Eucalyptus Globulus) como combustible en un modelo de horno de ladrillo artesanal, a través del análisis y modificación de las características del combustible*. Cuenca.
- García, R. (2001). *Combustión y Combustibles*. San José.: Trabajo de Grado Maestría.
- Harold, J., & Alvarez, P. (2011). *Estudio de cocinas mejoradas empleando leña y bosta como combustible*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Herguedas, A. I. (2012). *Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad*. Obtenido de hola: <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>
- Incropera, F. P., & Dewitt, D. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. Pearson Educación.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*. (23 de Mayo de 2018). Obtenido de <https://inta.gob.ar/documentos/cocina-lorena>
- LINEB. (2015). *Protocolos y formatos para pruebas en estufas de biomasa*. México: Laboratorio de Innovación y Evaluación en Estufas de Biomasa - Universidad Nacional Autónoma de México.
- Maderame. (07 de 12 de 2022). *Madera de ciprés: Tipos, Usos y Características*. Obtenido de Maderame: <https://maderame.com/enciclopedia-madera/cipres/>
- Nuclear Power. (2022). *¿Cuáles son las propiedades térmicas del hierro fundido?* Obtenido de <https://material-properties.org/es/cuales-son-las-propiedades-termicas-del-hierro-fundido-definicion/>

- Pankrátov, G. (1987). *Problemas de termotecnia*. Mir Moscú.
- Ruano, L. (2020). *ISSUU*. Obtenido de Cálculo de Chimenea a Leña:
https://issuu.com/luisfernandoruanopaz/docs/c_lculo_chimeneas
- Ruiz, M. (2019). Plan de acción a corto plazo para mejora de calidad del aire de villanueva y su entorno. *Manual de buenas prácticas para operaciones de combustión*. Junta de Andalucía.
- Salazar, R., Soihet, C., & Mendez, J. (2000). Manejo de semillas de 75 especies forestales de América latina. Costa Rica, Costa Rica.
- Santana, C. (2004). Contaminación a Leña. *Curso IQ588 Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas*.
- Stampaggi, E. (s.f.). Manual de instrucciones de Estufas a Leña. Vazzola, Vazzola, Italia.

ANEXO I. PROPIEDADES DEL AIRE

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y

TABLA A-5

 Propiedades de materiales de construcción
 (a una temperatura media de 24°C)

Material	Espesor, L mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · K	Calor específico, c_p kJ/kg · K	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), K · m ² /W
Tableros de construcción					
Tablero de asbesto-cemento	6 mm	1 922	—	1.00	0.011
Tablero de yeso de revoque	10 mm	800	—	1.09	0.057
	13 mm	800	—	—	0.078
Madera contrachapada (abeto Douglas)	—	545	0.12	1.21	—
	6 mm	545	—	1.21	0.055
	10 mm	545	—	1.21	0.083
	13 mm	545	—	1.21	0.110
	20 mm	545	—	1.21	0.165
Tablero y entablado aislados (densidad común)	13 mm	288	—	1.30	0.232
	20 mm	288	—	1.30	0.359
Tablero duro (de alta densidad, amasado estándar)	—	1 010	0.14	1.34	—
Tablero aglutinado: Densidad media	—	800	0.14	1.30	—
Contrapiso	16 mm	640	—	1.21	0.144
Contrapiso de madera	20 mm	—	—	1.38	0.166
Membrana de construcción					
Filtro permeable al vapor	—	—	—	—	0.011
Sello de vapor (2 capas de fieltro de 0.73 kg/m ² estropajeado)	—	—	—	—	0.021
Materiales para piso					
Alfombra y carpeta fibrosa	—	—	—	1.42	0.367
Alfombra y carpeta de caucho	—	—	—	1.38	0.217
Loseta (asfalto, linóleo, vinilo)	—	—	—	1.26	0.009
Materiales para mampostería					
<i>Unidades de mampostería:</i>					
Ladrillo común		1 922	0.72	—	—
Ladrillo para fachada		2 082	1.30	—	—
Ladrillo de arcilla refractaria		2 400	1.34	—	—
		1 920	0.90	0.79	—
		1 120	0.41	—	—
Bloques de concreto (3 núcleos ovales, agregado de arena y grava)	100 mm	—	0.77	—	0.13
	200 mm	—	1.0	—	0.20
	300 mm	—	1.30	—	0.23
Concretos:					
Agregados ligeros (incluyendo esquisto, arcilla o pizarra expandidos; escorias de alto horno expandidas; cenizas de alto horno; piedra pómez y escoria)		1 920	1.1	—	—
		1 600	0.79	0.84	—
		1 280	0.54	0.84	—
		960	0.33	—	—
		940	0.18	—	—
Cemento/cal, mortero y estuco		1 920	1.40	—	—
		1 280	0.65	—	—
Estuco		1 857	0.72	—	—

Emisividades de las superficies (*conclusión*)

b) No metales

Material	Temperatura, K	Emisividad, ϵ	Material	Temperatura, K	Emisividad, ϵ
Alúmina	800-1 400	0.65-0.45	Papel blanco	300	0.90
Aluminio, óxido de	600-1 500	0.69-0.41	Revoque blanco	300	0.93
Asbesto	300	0.96	Porcelana vidriada	300	0.92
Asfalto, pavimento de	300	0.85-0.93	Cuarzo, áspero, vidrio	300	0.93
Ladrillo			Caucho		
Común	300	0.93-0.96	Duro	300	0.93
De arcilla refractaria	1 200	0.75	Suave	300	0.86
Carbono, filamento de	2 000	0.53	Arena	300	0.90
Tela	300	0.75-0.90	Silicio, carburo de	600-1 500	0.87-0.85
Concreto	300	0.88-0.94	Piel humana	300	0.95
Vidrio			Nieve	273	0.80-0.90
De ventana	300	0.90-0.95	Suelo, tierra	300	0.93-0.96
Pyrex	300-1 200	0.82-0.62	Hollín	300-500	0.95
Pyroceram	300-1 500	0.85-0.57	Teflón	300-500	0.85-0.92
Hielo	273	0.95-0.99	Agua profunda	273-373	0.95-0.96
Magnesio, óxido de	400-800	0.69-0.55	Madera		
Mampostería	300	0.80	Haya	300	0.94
Pinturas			Roble	300	0.90
De aluminio	300	0.40-0.50			
Negra, laca, lustrosa	300	0.88			
De aceite, todos los colores	300	0.92-0.96			
De base (primer) roja	300	0.93			
Acrílica blanca	300	0.90			
Esmalte blanco	300	0.90			

Anexo II. FORMATOS PARA REGISTRO DE PRUEBAS

Tabla para toma de datos de prueba de ebullición

PRUEBA DE EBULLICIÓN DE AGUA				
Tipo de cocina		Fecha		
Tipo de leña		Ubicación		
Fase 1 (calentamiento con inicio de cocina en frío)				
	Inicio		Final	
Masa de leña				
Temperatura olla 1				
Temperatura olla 2				
Temperatura olla 3				
Masa de agua olla 1				
Masa de agua olla 2				
Masa de agua olla 3				
Tiempo				
Fase 2 (calentamiento con inicio de cocina en caliente)				
	Inicio		Final	
Masa de leña				
Temperatura olla 1				
Temperatura olla 2				
Temperatura olla 3				
Masa de agua olla 1				
Masa de agua olla 2				
Masa de agua olla 3				
Tiempo				

Tabla para toma de datos de dimensionamiento

Parámetro	Longitud	Dimensión teórica	Dimensión real
Cuerpo de la estufa	Largo [mm]		
	Alto [mm]		
	Fondo [mm]		
	Espesor del ladrillo [mm]		
Cámara de combustión	Ancho [mm]		
	Alto [mm]		
	Fondo [mm]		
Chimenea	Diámetro [mm]		
	Alto [mm]		
Horno	Ancho [mm]		
	Alto [mm]		
	Fondo [mm]		

Tabla registro de funcionalidad.

Registro de prueba de funcionalidad - Cocina ecoeficiente		
Datos técnicos	Medida	Unidad
Masa de leña		Kg
Tiempo de prueba		min
Temperatura ambiente		°C
Temperatura interna máxima de la cámara de combustión		°C
Temperatura externa en las paredes laterales de la cámara de combustión		°C
Temperatura externa puerta de la cámara de combustión		°C
Temperatura externa en la puerta del horno		°C
Temperatura externa en la pared del ducto de la chimenea		°C
Velocidad de salida gases de la combustión		m/s
Lista de verificación	Cumple	No cumple
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

Tabla para toma de datos de prueba de cocción

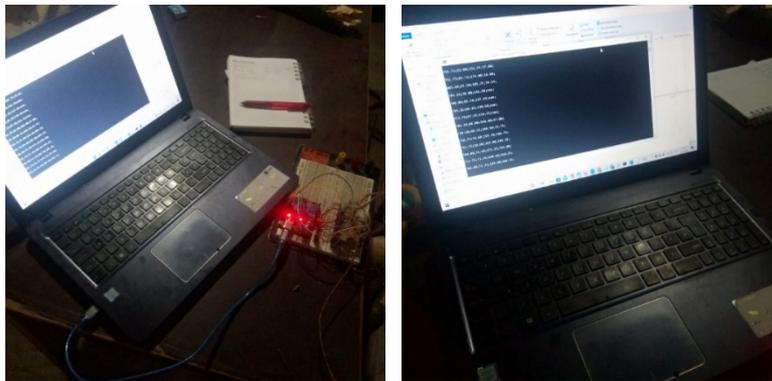
Datos obtenidos Prueba de Cocinado Controlado			
Tipos de cocinas		Fecha	
T. ambiente [°C]		Ubicación	
Cocina ecoeficiente			
Tipo de prueba		Cantidad de leña [kg]	
Recipiente	Producto	Cantidad [kg]	Tiempo de cocción [min]
1			
2			
3			
Tipo de prueba		Cantidad de leña [kg]	
Recipiente	Producto	Cantidad [kg]	Tiempo de cocción [min]
1			
2			
3			
Cocina tradicional de GLP			
Tipo de prueba		Combustible	
Recipiente	Producto	Cantidad [kg]	Tiempo de cocción [min]
1			
2			
3			
Cocina de inducción			
Tipo de prueba		Conexión	
Recipiente	Producto	Cantidad [kg]	Tiempo de cocción [min]
1			
2			
3			

ANEXO III. FOTOGRAFÍAS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS

Prueba de control de temperatura



Calentamiento de los recipientes



Toma de datos con Arduino



Combustión de la madera

Prueba de ebullición



Calentamiento de los tres recipientes



Combustión de la leña

Prueba de cocción



Preparación de los alimentos

Prueba de cocción cocina tradicional que usa GLP



Preparación de los alimentos



Alimentos preparados

Prueba de cocción cocina de inducción



Puebas de ebullición y cocción en cocina de inducción



Prueba control de temperatura cocina de inducción

Verificación de medidas y funcionamiento



Verificación de medidas de la cocina ecoeficiente



Medición de temperatura en la puerta de la cámara de combustión y horno.



Revisión de cocción de alimentos en la plancha de cocción y horno.



Verificación de encendido en la cámara de combustión

ANEXO IV. CÓDIGO PARA MEDICIÓN DE TEMPERATURAS

```
#include "max6675.h"

int ktcSO = 5;

int ktcCLK = 4;

int ktcCS1 = 7;

int ktcCS2 = 8;

int ktcCS3 = 9;

int ktcCS4 = 10;

MAX6675 ktc1(ktcCLK, ktcCS1, ktcSO);

MAX6675 ktc2(ktcCLK, ktcCS2, ktcSO);

MAX6675 ktc3(ktcCLK, ktcCS3, ktcSO);

MAX6675 ktc4(ktcCLK, ktcCS4, ktcSO);

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  Serial.println("SensorHorno;SensorPuertaCamaraCombustion;SensorRecipiente;SensorCamara
  Combustion");

  delay(500);

}

void loop() {

  Serial.print(ktc1.readCelsius());

  Serial.print(";");

  delay(1000);

  Serial.print(ktc2.readCelsius());

  Serial.print(";");

  delay(1000);

  Serial.print(ktc3.readCelsius());

  Serial.print(";");

  delay(1000);

  Serial.print(ktc4.readCelsius());

  Serial.println(";");

  delay(10000);
```

```
// put your main code here, to run repeatedly:
```

```
}
```

Parte del programa que permite almacenar en un archivo los datos obtenidos

```
import serial
```

```
import time
```

```
archivo=open('D:\\Prueba19112022.csv','w')
```

```
serialArduino=serial.Serial("COM5",9600)
```

```
time.sleep(1)
```

```
while True:
```

```
    cad=serialArduino.readline().decode("ascii")
```

```
    print(cad)
```

```
    archivo.write(cad)
```

ANEXO V. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS SENSORES DURANTE LAS PRUEBAS

Datos de Prueba de cocción Fase 1– Cocina Ecoeficiente			
Tiempo [min]	Temp. Recipiente 1 [°C]	Temp. Recipiente 2 [°C]	Temp. Recipiente 3 [°C]
0	25,25	24	21,5
0,166	24,5	25	21,5
0,332	25,75	25,5	21,75
0,498	26	26,5	21,75
0,664	26,25	27,25	22,5
0,83	26	29,5	22,75
0,996	26,5	28,75	23
1,162	26,75	28,25	23,25
1,328	27,5	28,5	23
1,494	28,25	30,25	23
1,66	28,25	31	23,25
1,826	28,75	31,5	23,5
1,992	29,25	30,75	24
2,158	29,75	31,25	24
2,324	30,25	32	23,75
2,49	31,25	33	24,5
2,656	31,5	34	24,25
2,822	32,75	34,5	25
2,988	33	36	25,25
3,154	34,25	35,75	25,25
3,32	33,75	36	25,75
3,486	35,25	38	25,75
3,652	36	38,25	25,75
3,818	36,25	39	26,5
3,984	37,75	39,5	27
4,15	38,5	41,25	27,25
4,316	39,25	43,5	27,5
4,482	39,25	43,25	27,5
4,648	40,25	43	27,75
4,814	41,25	44,25	28,5
4,98	40,75	45	28,75
5,146	42,5	47,25	29,25
5,312	43,25	47	30
5,478	44,25	48,75	29,75
5,644	45,5	49,25	30
5,81	45,5	51	30
5,976	46,25	51,25	31,25
6,142	47,5	52,5	31,5

6,308	48,25	55,25	31,5
6,474	49,25	55	32
6,64	50,25	57	32,25
6,806	51	57,75	33,5
6,972	52,25	59	32,75
7,138	52,5	59,75	33,25
7,304	54	61,25	33,75
7,47	54,75	62,5	34,25
7,636	55,75	63,5	34,75
7,802	56,75	65,75	35
7,968	57	69	35,25
8,134	58,25	67,25	35
8,3	59,75	69,25	35,5
8,466	59,75	69,75	36,25
8,632	60,75	71	36
8,798	61,25	71	36,5
8,964	62,25	72,5	36,25
9,13	63,25	74,25	36,25
9,296	63,75	74,75	37,75
9,462	64,5	75,5	37,25
9,628	65,25	77,25	37,75
9,794	66,5	77,5	38
9,96	66,5	79,25	39
10,126	67,25	79,75	39
10,292	68,25	84,25	39,25
10,458	69,25	84,75	39,25
10,624	70	84,75	39,75
10,79	70,75	85,5	40,25
10,956	71	87	40,5
11,122	71,5	86,75	40,75
11,288	72	88,25	40,5
11,454	72,5	87,5	41,5
11,62	73,75	89	42,25
11,786	73,75	90,5	42
11,952	74,75	91	42,25
12,118	75,5	90,75	42,5
12,284	75,5	91,25	43
12,45	75,75	91,25	43,75
12,616	76	91,25	43,5
12,782	77,75	90,75	43,75
12,948	77	90,75	44,25
13,114	77,5	90,25	45
13,28	77,5	91	45,5
13,446	78,5	90,75	45,5
13,612	78,75	91	45,75

13,778	78,5	91,25	46,5
13,944	79,25	91	47,25
14,11	79,75	90,25	47
14,276	80	89,5	47,25
14,442	79,75	87	47,75
14,608	81,5	86,5	48,25
14,774	80,75	88,25	48,5
14,94	80,5	88,25	48,5
15,106	81	88,5	49,25
15,272	80,75	88,5	50
15,438	81,5	89,25	49,75
15,604	81,75	89	50
15,77	82,25	88,75	50,75
15,936	82,5	89,5	51
16,102	82,75	89,5	51
16,268	82,25	89,75	51,25
16,434	82,5	90	51,5
16,6	82,75	89,75	51,25
16,766	83	90	52
16,932	82,75	89,5	51,75
17,098	83,75	90,25	52,25
17,264	83,25	89,75	52,75
17,43	83	89,75	53,25
17,596	83,75	90,25	52,5
17,762	83,5	89,75	52,75
17,928	83,75	90,25	53,75
18,094	83	90	54
18,26	83,5	89,75	54,5
18,426	84	90	54,25
18,592	84,25	90	54,5
18,758	84	89,5	55
18,924	83,25	89,25	54,5
19,09	84	89,5	55
19,256	83,5	89,5	55,25
19,422	83,5	89,25	54,75
19,588	83,5	89	54,75
19,754	82,75	88,25	55,25
19,92	84	88,25	55,5
20,086	83,75	88,75	54,75
20,252	83,5	88,75	55,75
20,418	84,25	88,75	56,25
20,584	84	89	56,75
20,75	84,5	89,75	57,25
20,916	85,25	89,75	57
21,082	85	90,5	57,5

21,248	85,25	90,5	58
21,414	85,5	91,25	58,25
21,58	86,25	90,25	58,75
21,746	86,5	91	59
21,912	87,5	90,75	58,75
22,078	88,25	91,25	59,5
22,244	87,75	91,25	59,5
22,41	88,5	91,25	60
22,576	89	91,5	60
22,742	89,25	91,75	60,25
22,908	90	91	60,75
23,074	90	91,75	61
23,24	90,25	91,75	61,25
23,406	90,5	91,75	61,25
23,572	90,25	91,75	62
23,738	90,25	91,75	61,75
23,904	90,25	91,5	62,25
24,07	90,5	92	63
24,236	90,5	91,5	62,5
24,402	90,5	91,5	62,75
24,568	90,17	91,5	63,5
24,734	90,17	91	63,5
24,9	90,17	91,75	63,75
25,066	90,17	91,5	64,25
25,232	90,25	91,25	64
25,398	91	91,75	64,25
25,564	90	91,5	64
25,73	93,25	91,25	65,5
25,896	90,25	91,5	65,25
26,062	91,75	91,25	65,25
26,228	91,75	91,25	65,5
26,394	92,25	91,25	66
26,56	92	91,25	66,5
26,726	91,75	91	66,5
26,892	92,25	87	66,5
27,058	99,25	90	67
27,224	90,25	91,25	67,25
27,39	90,75	91	67,75
27,556	91,75	91,25	67,5
27,722	91,75	91,25	68,25
27,888	93	90,75	69
28,054	91,5	91,25	68
28,22	91,25	91,25	68,75
28,386	91,75	91	69,25
28,552	92	91	69,5

28,718	102,75	90,75	69,75
28,884	91,5	90,75	70
29,05	92	91,25	70,25
29,216	91,5	91	70,75
29,382	92	91	70
29,548	93	90,5	71,25
29,714	91,5	91	71
29,88	92,5	90,25	71
30,046	94,25	90,75	72,25
30,212	93,5	90,75	71,75
30,378	94,25	90,75	72,5
30,544	93,5	90,25	72,75
30,71	93,5	90	73,25
30,876	93,5	90,5	73,5
31,042	93,75	90,25	74,25
31,208	93,5	90,75	74
31,374	93,75	90	74,5
31,54	94	90,5	74,75
31,706	93,75	89,75	74,25
31,872	94,5	90,25	74,75
32,038	94	90	75
32,204	93,5	90,25	75,75
32,37	94	90,25	76
32,536	94,25	89,75	76
32,702	94,25	90	76,25
32,868	94	89,25	76,25
33,034	96,5	90,25	76,25
33,2	95	90,5	76,75
33,366	95,25	89,25	77
33,532	94,75	90,5	76,75
33,698	95	90	76,5
33,864	95,25	90	77,5
34,03	96	90,25	77
34,196	95,5	90,5	77,25
34,362	95,5	89,75	77,75
34,528	96	90,25	77,5
34,694	95,5	90	78,25
34,86	94,75	90	78,25
35,026	93,75	90,5	78,75
35,192	95,5	90,25	78,5
35,358	95,5	90	79
35,524	96,3	90,5	79,25
35,69	96,3	90,5	79
35,856	96,3	90,25	79,5
36,022	96,3	90	79,5

36,188	95,5	90,5	79,5
36,354	95,5	90,5	79

Datos de Prueba de cocción Fase 2 – Cocina Ecoeficiente			
Tiempo [min]	Temp. Recipiente 1 [°C]	Temp. Recipiente 2 [°C]	Temp. Recipiente 3 [°C]
0	25,25	24	21,5
0,166	24,5	25	21,5
0,332	25,75	25,5	21,75
0,498	26	26,5	21,75
0,664	26,25	27,25	22,5
0,83	26	29,5	22,75
0,996	26,5	28,75	23
1,162	26,75	28,25	23,25
1,328	27,5	28,5	23
1,494	28,25	30,25	23
1,66	28,25	31	23,25
1,826	28,75	31,5	23,5
1,992	29,25	30,75	24
2,158	29,75	31,25	24
2,324	30,25	32	23,75
2,49	31,25	33	24,5
2,656	31,5	34	24,25
2,822	32,75	34,5	25
2,988	33	36	25,25
3,154	34,25	35,75	25,25
3,32	33,75	36	25,75
3,486	35,25	38	25,75
3,652	36	38,25	25,75
3,818	36,25	39	26,5
3,984	37,75	39,5	27
4,15	38,5	41,25	27,25
4,316	39,25	43,5	27,5
4,482	39,25	43,25	27,5
4,648	40,25	43	27,75
4,814	41,25	44,25	28,5
4,98	40,75	45	28,75
5,146	42,5	47,25	29,25
5,312	43,25	47	30
5,478	44,25	48,75	29,75
5,644	45,5	49,25	30
5,81	45,5	51	30
5,976	46,25	51,25	31,25
6,142	47,5	52,5	31,5

6,308	48,25	55,25	31,5
6,474	49,25	55	32
6,64	50,25	57	32,25
6,806	51	57,75	33,5
6,972	52,25	59	32,75
7,138	52,5	59,75	33,25
7,304	54	61,25	33,75
7,47	54,75	62,5	34,25
7,636	55,75	63,5	34,75
7,802	56,75	65,75	35
7,968	57	69	35,25
8,134	58,25	67,25	35
8,3	59,75	69,25	35,5
8,466	59,75	69,75	36,25
8,632	60,75	71	36
8,798	61,25	71	36,5
8,964	62,25	72,5	36,25
9,13	63,25	74,25	36,25
9,296	63,75	74,75	37,75
9,462	64,5	75,5	37,25
9,628	65,25	77,25	37,75
9,794	66,5	77,5	38
9,96	66,5	79,25	39
10,126	67,25	79,75	39
10,292	68,25	84,25	39,25
10,458	69,25	84,75	39,25
10,624	70	84,75	39,75
10,79	70,75	85,5	40,25
10,956	71	87	40,5
11,122	71,5	86,75	40,75
11,288	72	88,25	40,5
11,454	72,5	87,5	41,5
11,62	73,75	89	42,25
11,786	73,75	90,5	42
11,952	74,75	91	42,25
12,118	75,5	90,75	42,5
12,284	75,5	91,25	43
12,45	75,75	91,25	43,75
12,616	76	91,25	43,5
12,782	77,75	90,75	43,75
12,948	77	90,75	44,25
13,114	77,5	90,25	45
13,28	77,5	91	45,5
13,446	78,5	90,75	45,5
13,612	78,75	91	45,75

13,778	78,5	91,25	46,5
13,944	79,25	91	47,25
14,11	79,75	90,25	47
14,276	80	89,5	47,25
14,442	79,75	87	47,75
14,608	81,5	86,5	48,25
14,774	80,75	88,25	48,5
14,94	80,5	88,25	48,5
15,106	81	88,5	49,25
15,272	80,75	88,5	50
15,438	81,5	89,25	49,75
15,604	81,75	89	50
15,77	82,25	88,75	50,75
15,936	82,5	89,5	51
16,102	82,75	89,5	51
16,268	82,25	89,75	51,25
16,434	82,5	90	51,5
16,6	82,75	89,75	51,25
16,766	83	90	52
16,932	82,75	89,5	51,75
17,098	83,75	90,25	52,25
17,264	83,25	89,75	52,75
17,43	83	89,75	53,25
17,596	83,75	90,25	52,5
17,762	83,5	89,75	52,75
17,928	83,75	90,25	53,75
18,094	83	90	54
18,26	83,5	89,75	54,5
18,426	84	90	54,25
18,592	84,25	90	54,5
18,758	84	89,5	55
18,924	83,25	89,25	54,5
19,09	84	89,5	55
19,256	83,5	89,5	55,25
19,422	83,5	89,25	54,75
19,588	83,5	89	54,75
19,754	82,75	88,25	55,25
19,92	84	88,25	55,5
20,086	83,75	88,75	54,75
20,252	83,5	88,75	55,75
20,418	84,25	88,75	56,25
20,584	84	89	56,75
20,75	84,5	89,75	57,25
20,916	85,25	89,75	57
21,082	85	90,5	57,5

21,248	85,25	90,5	58
21,414	85,5	91,25	58,25
21,58	86,25	90,25	58,75
21,746	86,5	91	59
21,912	87,5	90,75	58,75
22,078	88,25	91,25	59,5
22,244	87,75	91,25	59,5
22,41	88,5	91,25	60
22,576	89	91,5	60
22,742	89,25	91,75	60,25
22,908	90	91	60,75
23,074	90	91,75	61
23,24	90,25	91,75	61,25
23,406	90,5	91,75	61,25
23,572	90,5	91,75	62
23,738	90,5	91,75	61,75
23,904	90,5	91,5	62,25
24,07	90,5	92	63
24,236	91,75	91,5	62,5
24,402	91,75	91,5	62,75
24,568	92,25	91,5	63,5
24,734	93,25	91	63,5
24,9	90,25	91,75	63,75
25,066	91,75	91,5	64,25
25,232	91,25	91,25	64
25,398	91	91,75	64,25
25,564	90	91,5	64
25,73	93,25	91,25	65,5
25,896	90,25	91,5	65,25
26,062	91,75	91,25	65,25
26,228	91,75	91,25	65,5
26,394	92,25	91,25	66
26,56	92	91,25	66,5
26,726	91,75	91	66,5
26,892	92,25	87	66,5
27,058	99,25	90	67
27,224	90,25	91,25	67,25
27,39	90,75	91	67,75
27,556	91,75	91,25	67,5
27,722	91,75	91,25	68,25
27,888	93	90,75	69
28,054	91,5	91,25	68
28,22	91,25	91,25	68,75
28,386	91,75	91	69,25
28,552	92	91	69,5

28,718	102,75	90,75	69,75
28,884	91,5	90,75	70
29,05	92	91,25	70,25
29,216	91,5	91	70,75
29,382	92	91	70
29,548	93	90,5	71,25
29,714	91,5	91	71
29,88	92,5	90,25	71
30,046	94,25	90,75	72,25
30,212	93,5	90,75	71,75
30,378	94,25	90,75	72,5
30,544	93,5	90,25	72,75
30,71	93,5	90	73,25
30,876	93,5	90,5	73,5
31,042	93,75	90,25	74,25
31,208	93,5	90,75	74
31,374	93,75	90	74,5
31,54	94	90,5	74,75
31,706	93,75	89,75	74,25
31,872	94,5	90,25	74,75
32,038	94	90	75
32,204	93,5	90,25	75,75
32,37	94	90,25	76
32,536	94,25	89,75	76
32,702	94,25	90	76,25
32,868	94	89,25	76,25
33,034	96,5	90,25	76,25
33,2	95	90,5	76,75
33,366	95,25	89,25	77
33,532	94,75	90,5	76,75
33,698	95	90	76,5
33,864	95,25	90	77,5
34,03	96	90,25	77
34,196	95,5	90,5	77,25
34,362	95,5	89,75	77,75
34,528	96	90,25	77,5
34,694	95,5	90	78,25
34,86	94,75	90	78,25
35,026	93,75	90,5	78,75
35,192	95,25	90,25	78,5
35,358	96	90	79
35,524	95,5	90,5	79,25
35,69	95,5	90,5	79
35,856	96	90,25	79,5
36,022	95,5	90	79,5

36,188	94,75	90,5	79,5
36,354	93	90,5	79
36,52	96,5	59,25	78,25
36,686	97,25	14,75	79
36,852	97,75	11,75	78,75
37,018	96	11,25	79
37,184	95	11,5	79
37,35	95	11,75	79
37,516	95,25	11,5	79,5
37,682	97	12	79,25
37,848	97	11,5	79,75
38,014	95,25	11,5	78,75
38,18	95	11,5	79,75
38,346	97,25	11,75	79,75
38,512	91,75	11,75	79,25
38,678	90,5	11,5	79,5
38,844	89	11,5	79,25
39,01	89,25	11,5	79,75
39,176	89,5	11,5	79,25
39,342	89,5	11,75	79
39,508	88,75	11,75	78,75
39,674	89,25	12	79
39,84	98	11,75	79,5
40,006	98	11,5	78,5
40,172	95	11,75	79
40,338	94,2	11,75	78,5
40,504	93	11,5	78,5
40,67	91,8	11,25	78,5
40,836	90,6	12	78,5
41,002	89,4	11,5	78,5
41,168	88,2	11,5	78,25
41,334	87	11,75	78
41,5	85,8	11,25	78,5
41,666	84,6	11,5	78
41,832	83,4	11,5	78,25
41,998	82,2	11,75	77,75
42,164	81	11,5	78
42,33	116	11	78
42,496	119,5	11,5	77,75
42,662	121	12	77,75
42,828	122,5	11,75	78
42,994	121,5	11,75	78
43,16	75,75	12,25	17
43,326	66,5	12,5	13,5
43,492	65,75	13	13,75

43,658	63,5	12,75	14
43,824	61,75	13	13,5
43,99	59,25	12,75	13,5
44,156	59,75	13,25	13,75
44,322	60	13,25	13,75
44,488	47,25	13,5	13,5

Datos de Prueba de cocción - Cocina GLP			
Tiempo [min]	Temp. Recipiente 1 [°C]	Temp. Recipiente 2 [°C]	Temp. Recipiente 3 [°C]
0	16,25	16,25	14
0,166	16,6	16,5	13,75
0,332	16,1	16,5	14,5
0,498	16,35	16,75	15,25
0,664	17,6	18	15,75
0,83	17,85	18,25	17,25
0,996	18,35	18,75	18,25
1,162	20	20,25	21,25
1,328	20,25	21	21,75
1,494	21,75	22	23
1,66	22,75	22	24,25
1,826	22,25	23	26,75
1,992	23,5	23,75	26,25
2,158	23,75	23,25	27
2,324	25	24,5	28,5
2,49	26,5	24,75	29
2,656	25,25	25	30
2,822	26,5	24,25	30,25
2,988	27,5	25,5	31,75
3,154	28	26	33,5
3,32	29,25	26,25	33,25
3,486	29,25	27	34
3,652	29,75	27,75	35
3,818	31	28	36
3,984	30,75	28,25	36,25
4,15	32,75	29	37,75
4,316	33,25	29,25	37,25
4,482	33,5	29,75	38,75
4,648	34,25	30,5	39,5
4,814	35,25	30,75	40,25
4,98	35,75	30,5	41,75
5,146	36,5	31,5	42,5
5,312	36,75	32,25	42,5
5,478	37,5	32,25	42,75
5,644	38,5	33,25	45

5,81	39	32,75	46
5,976	39,75	33,75	46,25
6,142	40	33,75	47,25
6,308	41,5	34,75	47,25
6,474	42,25	34,75	48,75
6,64	41,75	35,75	49,75
6,806	43,25	35,75	50,5
6,972	43,25	36,5	52
7,138	44,5	36,5	52
7,304	44,75	37,25	52,25
7,47	45,75	37,75	53,5
7,636	45	38,5	54,25
7,802	45,25	39,25	55,75
7,968	46	39,75	57
8,134	47,75	40,5	56,75
8,3	47,75	40,25	58,25
8,466	47,75	41	58,75
8,632	49	41,5	58,75
8,798	49	41,75	60
8,964	51,5	41,5	61
9,13	50,25	42,75	61
9,296	52	43	62,75
9,462	52	44	63,25
9,628	53,25	44,25	64,25
9,794	52	44,5	64,75
9,96	53,5	45	65,5
10,126	54,25	45,25	66,25
10,292	56	46	66,5
10,458	55,5	46	67,75
10,624	55,25	46,5	68,25
10,79	56	46,75	69,25
10,956	57,75	47,75	68,75
11,122	57,25	47,75	69,5
11,288	58,75	48,5	71,25
11,454	58,25	48,5	71,5
11,62	59,25	48,75	72,5
11,786	60	49,25	73,25
11,952	60,25	49,75	73,25
12,118	61,25	51	74,25
12,284	62	50,75	75
12,45	66,5	48,5	75,5
12,616	62,5	50,75	75,75
12,782	63,25	51,75	76,75
12,948	64,5	52,25	78
13,114	65,75	52,75	77,75

13,28	64,75	53	78
13,446	66	51,75	78,75
13,612	68,25	54	78,75
13,778	69,75	52,75	79,5
13,944	70,5	53,5	80,25
14,11	67,25	55,25	81,25
14,276	70,75	54,75	81,25
14,442	68	55,75	81,25
14,608	69	55,5	81,25
14,774	69,5	54,5	83
14,94	69,75	57	82,25
15,106	76,25	55	83,25
15,272	74	54,75	83,25
15,438	76,25	55	83,75
15,604	76,5	56,25	84,75
15,77	72,25	56	85
15,936	78	56	85,25
16,102	76,5	56,25	85
16,268	74,5	59	85
16,434	75	56,75	87
16,6	77	57,5	87
16,766	80	58,75	87,5
16,932	78,25	56,5	86,75
17,098	80,5	58,25	87
17,264	83,25	61,5	86,5
17,43	76,5	60	87,75
17,596	82	58,25	87,75
17,762	82	59,5	86
17,928	83,5	58,25	86
18,094	85	59	84,75
18,26	84	59,75	85,5
18,426	86,5	62	84,75
18,592	83,5	62	84,75
18,758	86,25	62,75	85,25
18,924	84	61,75	85,25
19,09	87	61	85,75
19,256	87	61,75	86,5
19,422	83,75	60,5	86,25
19,588	83,5	63	85,75
19,754	87,25	61,75	85,75
19,92	85,5	64,5	86,25
20,086	88,5	62,25	86
20,252	86	61,25	86,25
20,418	85	65	86,5
20,584	88	62	87

20,75	89,25	66,25	87
20,916	86,5	68	87
21,082	87	65,25	87,5
21,248	90,25	67,5	87
21,414	91,5	68,5	87
21,58	90,5	67,25	87,25
21,746	88,75	67,75	87,75
21,912	88,75	68,5	87
22,078	88,5	68	87
22,244	90,25	69,5	87
22,41	88,25	66,5	90
22,576	87,75	69,75	86,5
22,742	90,25	65,75	91
22,908	90	65,75	86,75
23,074	93,75	67	87
23,24	90,5	69	87,25
23,406	92,75	71	86,75
23,572	89	71,75	86,75
23,738	89,25	70,25	88,5
23,904	90,25	72,25	86,5
24,07	89	73	86,75
24,236	89,5	73,5	87
24,402	90,5	72,75	87
24,568	90,25	72,75	87,25
24,734	92,5	73,25	87,25
24,9	91,25	73,75	87,25
25,066	92,5	73,25	87,25
25,232	90,5	73,25	87,25
25,398	92,25	74,75	87
25,564	95,75	75	86,75
25,73	93,25	74,25	86,5
25,896	91,25	74,5	87,25
26,062	91,25	75	87,75
26,228	92	75	87,25
26,394	91,5	76	86,75
26,56	92	75,5	87,25
26,726	92,25	76	87,5
26,892	92	76	87
27,058	92	76	87,5
27,224	92,75	76,75	87
27,39	92	76,5	86,75
27,556	90,25	77,5	87
27,722	92,75	76,75	87,5
27,888	91	77	87,25
28,054	92,75	77,5	87,25

28,22	92,75	78	87,5
28,386	92,75	77,75	86,75
28,552	92,75	79	86,75
28,718	92,75	78,25	87,25
28,884	92,5	77,5	87,75
29,05	91,75	78	87,5
29,216	93	78,5	87,25
29,382	93,25	78	87,5
29,548	91,25	79,75	87,5
29,714	93,25	83,75	87,75
29,88	91,25	83,5	87,5
30,046	92	79,75	87
30,212	91,5	79,5	87
30,378	92	83	87
30,544	92,25	85,75	87,5
30,71	92	81,5	87,25
30,876	90,75	83,25	87
31,042	90,75	80,25	87
31,208	91	80,75	87
31,374	91,25	79,5	87
31,54	91	87	87,5
31,706	91,5	80,75	86,75
31,872	91	81,25	87,5
32,038	91	80,5	87,25
32,204	90,75	84,25	87
32,37	91,25	82	86
32,536	93,25	81	89,75
32,702	93	81,75	87,25
32,868	92,75	81,25	87,25

Datos de Prueba de cocción - Cocina Inducción			
Tiempo [min]	Temp. Recipiente 1 [°C]	Temp. Recipiente 2 [°C]	Temp. Recipiente 3 [°C]
0	21	18	19
2	32,6	29,5	30,7
4	47	50	35,7
6	58	64,75	43
8	67,5	75,25	49,75
10	77,5	82,25	56
12	82,25	90,2	60,25
14	88,75	93,25	64,5
16	92	92,75	68,25

18	93,7	92,75	73,7
20	92,2	92,7	76
22	93,5	94	82
24	94,5	93,5	87,5
26	93,75	93,72	90,75
28	94,25	93,25	92,25

Datos de Prueba Control de temperatura - Cocina Ecoeficiente				
Tiempo [min]	Temp. Int Cámara de combustión [°C]	Temp.int Recipiente [°C]	Temp. Int. Gases de combustión [°C]	Temp.int. Horno
0	74,5	16,25	29,75	58,25
0,166	86,25	16,75	30	58,5
0,332	107,5	16,75	29,75	59,75
0,498	123	16,25	29,75	60
0,664	104	16,25	31	61
0,83	143,25	17	32	62,5
0,996	157	17	32	64
1,162	159	17,25	32,5	66
1,328	163,5	17,25	32,75	67,75
1,494	154,75	17,75	33,5	69,5
1,66	144	17,75	35	72
1,826	134	18,25	35	72,75
1,992	129,5	18	36,25	73,75
2,158	131,5	17,75	35,5	73,75
2,324	130,25	17,75	36,5	74,5
2,49	137,25	18	35,75	74,75
2,656	157,25	18	35,75	75,25
2,822	148,5	18	37,5	76
2,988	128,75	18	38,5	76,75
3,154	102,75	19	38	76,75
3,32	92	18,25	37	76,75
3,486	85,75	18,25	37,75	75,75
3,652	79,75	18,5	38,25	75,5
3,818	78	18,5	38,75	74,5
3,984	68,75	18,25	40	74,25
4,15	71,25	18,25	40	73
4,316	73	18,25	40,25	72,25
4,482	72	18,5	40	71,25
4,648	71,25	18,75	39,5	70,5
4,814	72	18,25	37,75	69
4,98	71,25	18,5	36	69
5,146	74,5	18,75	35	68,75
5,312	75,5	18,5	34,25	68,25
5,478	74	18,75	34,75	67,5
5,644	73,75	18,75	34,5	67,25
5,81	81	18,75	34,75	67
5,976	96,75	18,75	34	66,75
6,142	118,5	18,75	34,5	67,5
6,308	160,5	19	34,75	67,75

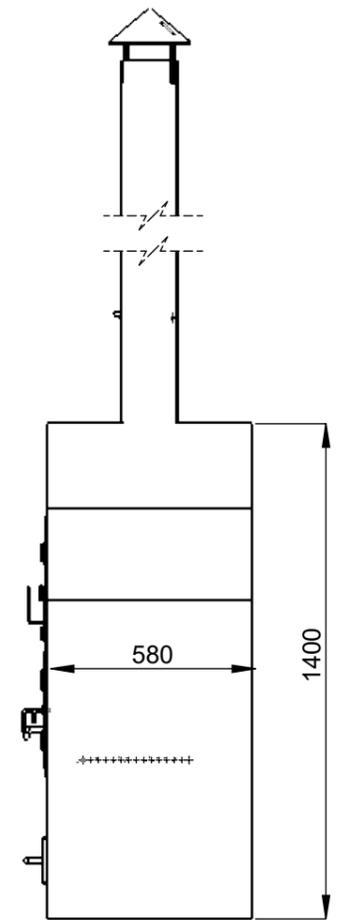
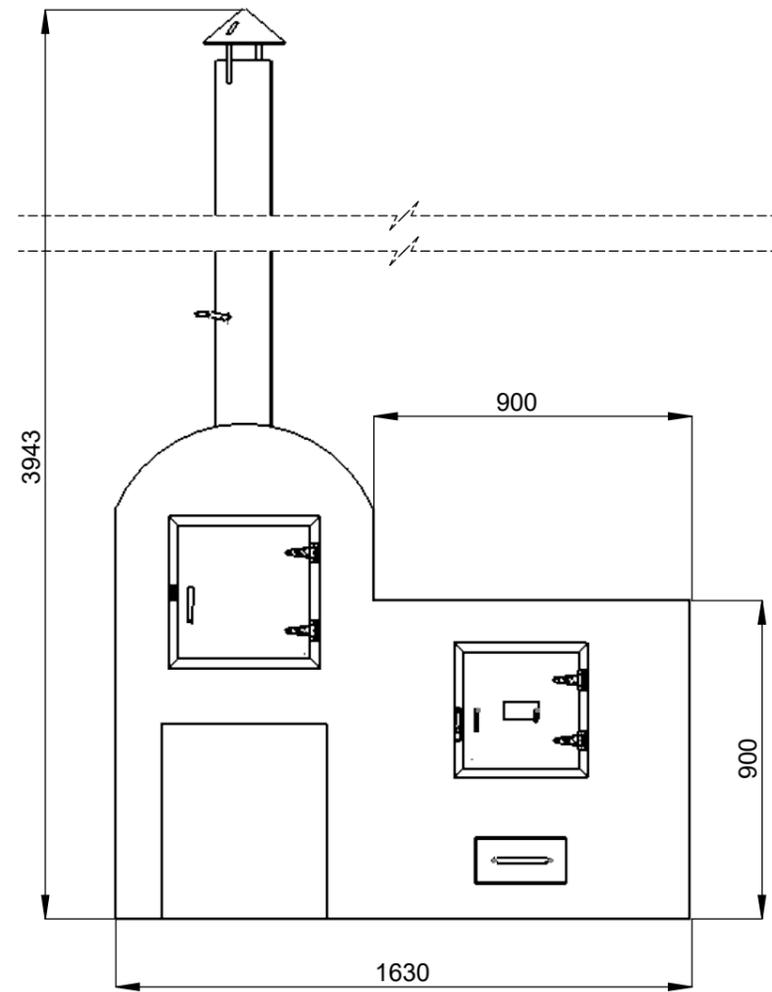
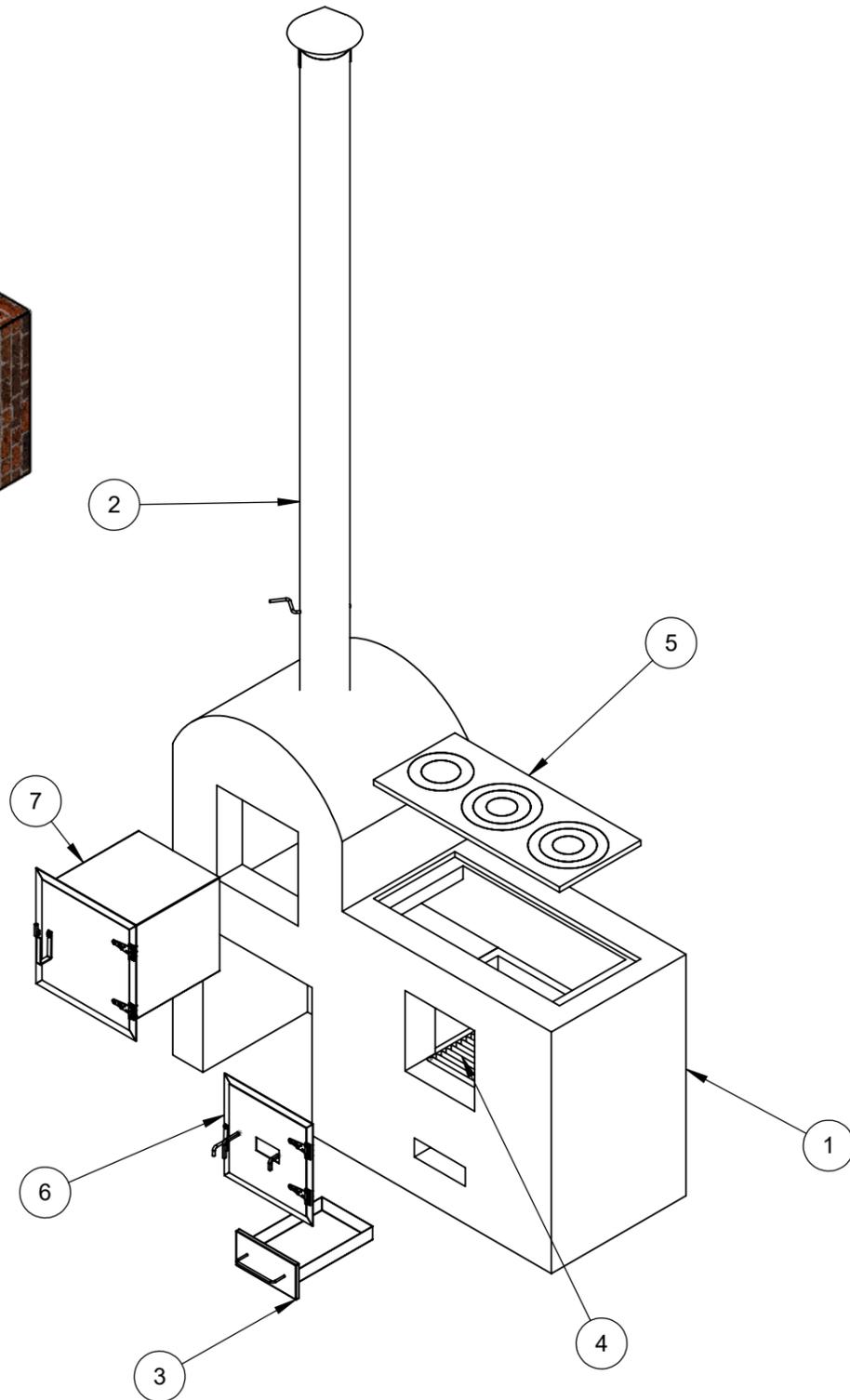
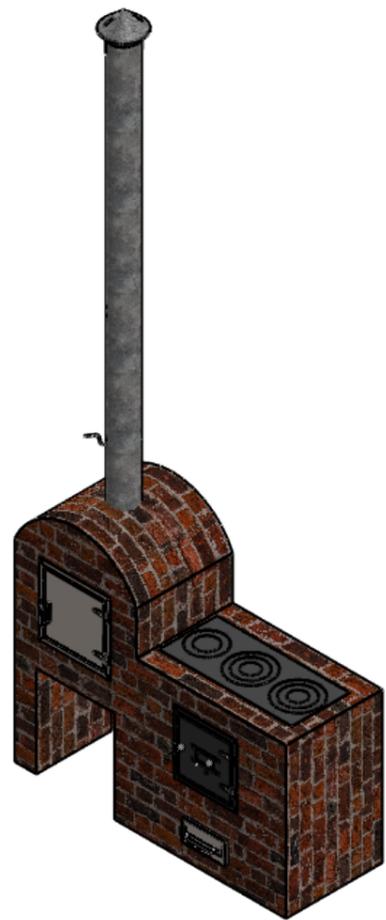
6,474	218,25	18,5	34,25	69,75
6,64	259	19,25	35,75	74,25
6,806	235,5	19,75	38,5	77,75
6,972	219,25	19,5	39,5	80,25
7,138	198,5	20,25	43	82,5
7,304	263,25	20,5	45	85,75
7,47	354,75	20,75	42,75	90
7,636	385,75	21	41,75	95,75
7,802	429,5	22	38,75	100,25
7,968	629	22,5	38	107,5
8,134	679	22,25	49,75	117,5
8,3	699,75	22,75	54,25	125
8,466	656,75	24	60,75	144,75
8,632	655,75	23,5	64,25	157
8,798	709,75	23,75	67,25	180
8,964	688,75	25,75	88,75	208,25
9,13	665,75	26,25	90	220,75
9,296	647,75	26,5	93	228,75
9,462	630,25	27,5	106,5	240,75
9,628	638,25	27,75	107,25	249,25
9,794	656,25	29,25	106,25	256
9,96	656,75	29,25	111,25	258,5
10,126	659,25	31,25	115,25	266,5
10,292	657,5	32,25	123	269,25
10,458	693,25	33	124,5	269
10,624	742	35,75	123,5	272,25
10,79	769	36	125,25	263
10,956	783,75	38	132,75	267
11,122	775,25	37,5	114,5	268
11,288	784,75	37,75	116,25	272,25
11,454	797	38,5	116,75	267
11,62	783,25	39,75	114,5	274
11,786	779,75	42	117,5	271,5
11,952	772	43,75	114,25	277,75
12,118	796,75	42,5	113	277,75
12,284	807	44,5	119,75	272,5
12,45	791	45	167,25	288
12,616	794,25	45,75	169,25	281
12,782	826,75	46	166,75	290,75
12,948	814,5	48,5	149,5	296,5
13,114	801	47,75	151,75	295,75
13,28	841,75	50	137,25	304,75
13,446	851	49,75	142,75	306,75
13,612	853,5	51,5	147	315,5
13,778	857,25	52,75	152	311,25
13,944	830,5	55,25	149	326,75
14,11	839	53,5	167,75	327,25
14,276	836,75	57,25	168,5	333,5
14,442	851,25	55,5	155,25	336
14,608	848,5	57,25	135,25	356,25
14,774	822,75	58,5	141	345,5
14,94	825,5	60	141,75	331
15,106	821,25	60,25	139,25	342,75

15,272	829	61	135,5	334,25
15,438	822,25	63,75	137	348,75
15,604	810,5	63	143	349,25
15,77	775	65,25	121,25	359,75
15,936	755,5	65,5	121,25	358,25
16,102	728	67	125,5	354,5
16,268	720	69,75	119,5	341,75
16,434	695,5	69,25	122,5	353,25
16,6	653	70,5	115,5	347,5
16,766	648	71,5	148,5	342,75
16,932	636	72,25	143	344,5
17,098	616,75	72,25	116,75	339,25
17,264	605,25	73	121,25	318
17,43	616,25	75,25	150,75	319
17,596	608,25	76	146,5	327
17,762	572,75	76,25	139,75	327,25
17,928	574	76,25	142,5	312,5
18,094	560	76,75	144,75	309,25
18,26	542	77,75	145,75	305,25
18,426	529,5	78,75	130,75	314
18,592	507	80	133,5	309,75
18,758	506,75	79	131,5	285,75
18,924	504	79,75	123	277
19,09	503,5	81,5	125	282,75
19,256	513	81	102	269,25
19,422	502	81,25	95,5	269,25
19,588	511,25	82,25	93,5	267
19,754	536,5	83,75	87	273
19,92	519,5	83,5	109	265,25
20,086	514,75	84,25	116,75	267,5
20,252	526	84,75	108,75	276
20,418	505,75	85	119,5	285,75
20,584	498	85,25	117	280,5
20,75	488,75	87	119,5	274,5
20,916	492,25	86,25	110,25	267
21,082	481,75	87	102,5	261,5
21,248	473,5	87,25	100,25	262,5
21,414	450	86,75	104	252,25
21,58	439,25	88,25	100	238
21,746	428,5	87,75	89,25	237,5
21,912	417,25	89,75	91	233,25
22,078	412	90	88,5	222
22,244	405,75	89,5	80,25	221
22,41	406,25	89,25	85,25	222,25
22,576	390,5	89,5	87,5	218
22,742	387	90,25	91	214,25
22,908	380,25	90	98,25	208,25
23,074	384,5	89,5	103,75	211,5
23,24	385,5	90	95,5	218,5
23,406	389,5	90	89,75	207,75
23,572	381,5	90	89,25	208
23,738	369	90	83,25	209,5
23,904	363,5	89,5	84	209,75

24,07	359,75	89,25	80,5	211,5
24,236	357,75	89,75	85,5	209,5
24,402	351	89,75	76,75	205,5
24,568	349,75	89,75	74,5	203,5
24,734	346	89,75	79	199,75
24,9	345	89,5	77,25	204
25,066	342,5	89,5	70	204
25,232	339	89,5	73,5	204,5
25,398	332,75	89,75	73,5	204,75
25,564	336,5	90,25	71,25	199,25
25,73	332,5	90	68,5	200,25
25,896	332,75	89,75	66,25	199,5
26,062	332	89,75	68,25	198,25
26,228	329,75	89,5	62,25	203,25
26,394	326,25	89,25	65,5	202
26,56	325	89,5	61,75	203,5
26,726	319,5	90	62	201,75
26,892	317,5	89,75	78,75	196
27,058	317	89,75	78,5	197,5
27,224	317,25	89,5	83,5	199,75
27,39	314,25	89,75	79,75	198,25

ANEXO VI. PLANOS

PLANOS



N.º	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO/NORMA	CANT.	MATERIAL	DESCRIPCIÓN
7	E-2	HORNO	.005	1	ACERO INOXIDABLE	ESPESOR 1.5 mm
6	F-3	PUERTA PARA CÁMARA DE COMBUSTIÓN	.004	1	ASTM A-36	ANGULO 40X40 mm
5	D-3	PLANCHA FDE HORNILLAS	N/A	1	HIERRO FUNDIDO	ESPESOR 20mm
4	E-3	REJILLA DE CÁMARA	.102	1	VARILLA CORRUGADA	D=5/16"
3	F-3	CENICERO	.003	1	ACERO INOXIDABLE	ESPESOR 1.5 mm
2	C-3	CHIMENEA	.002	1	ACERO GALVANIZADO	ESPESOR 1.5 mm
1	E-3	PAREDES COCINA	.101	1	LADRILLO	LADRILLO 260X130X70 mm

EPN

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

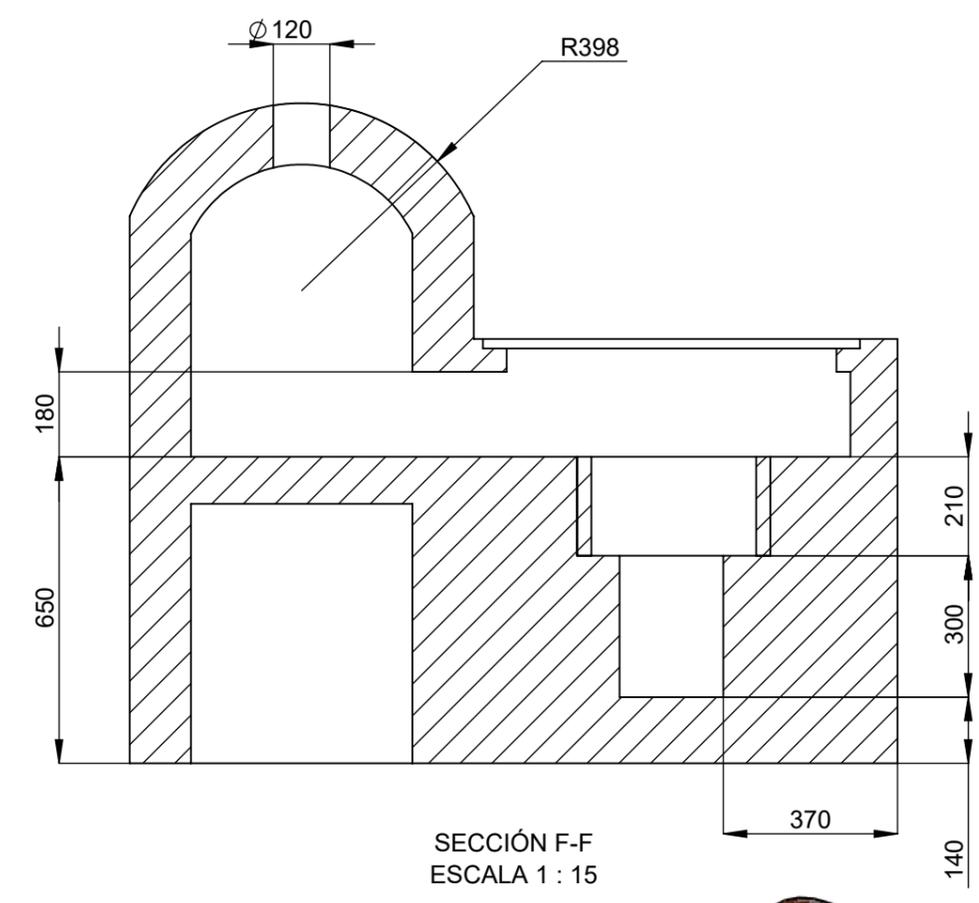
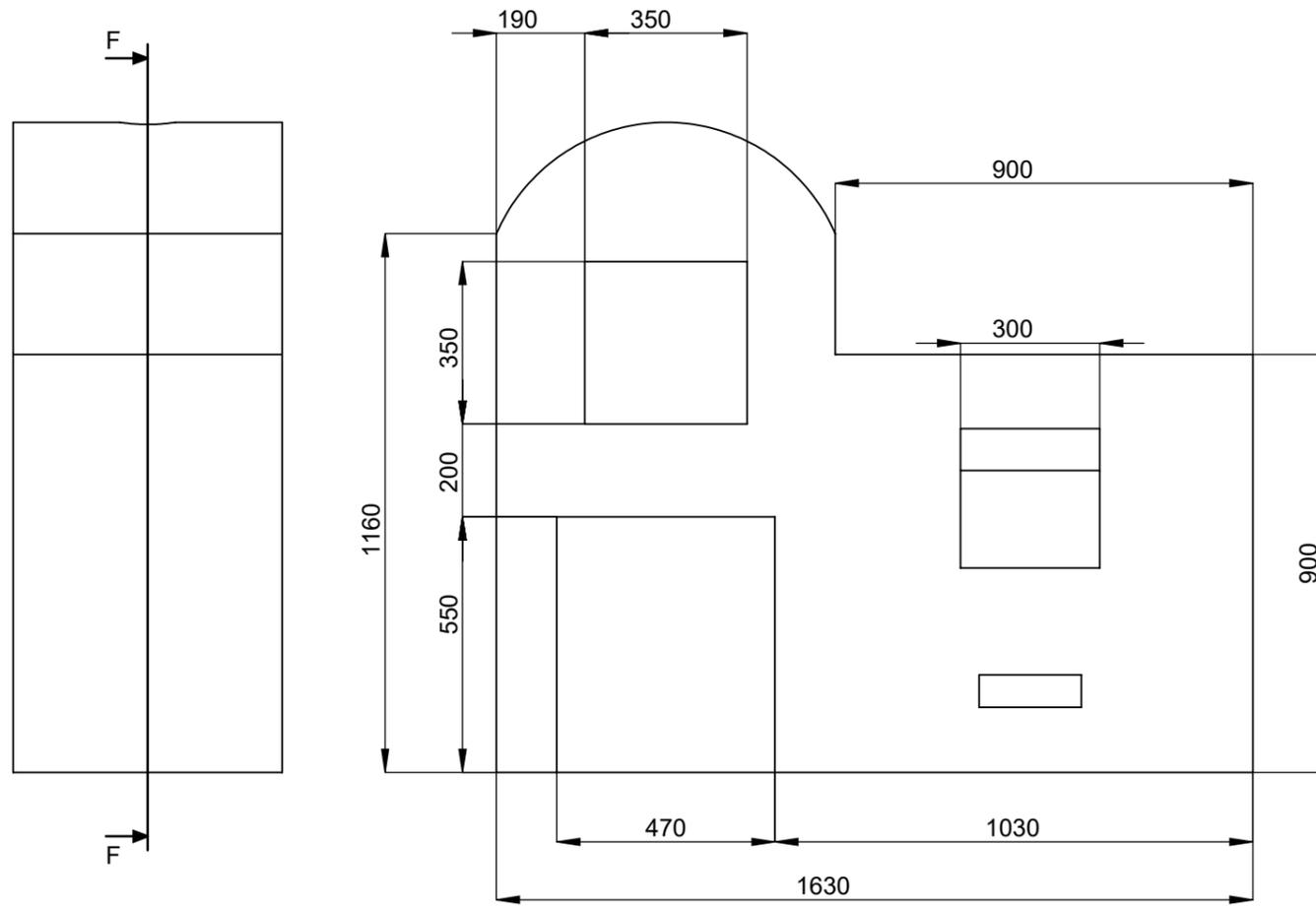
DIB: QUISHPE, LOACHAMIN
 DIS: QUISHPE, LOACHAMIN
 REV: ING. ANGEL PORTILLA

ESCALA 1:20

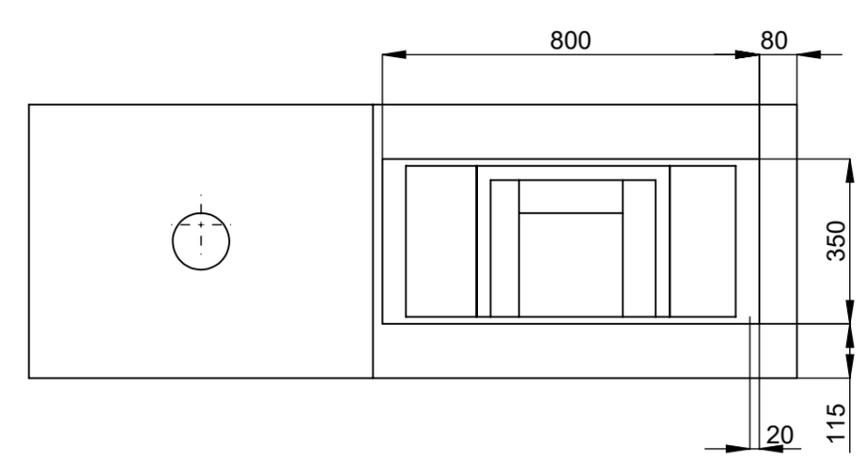
COCINA ECOLÓGICA

FIM-CE.001

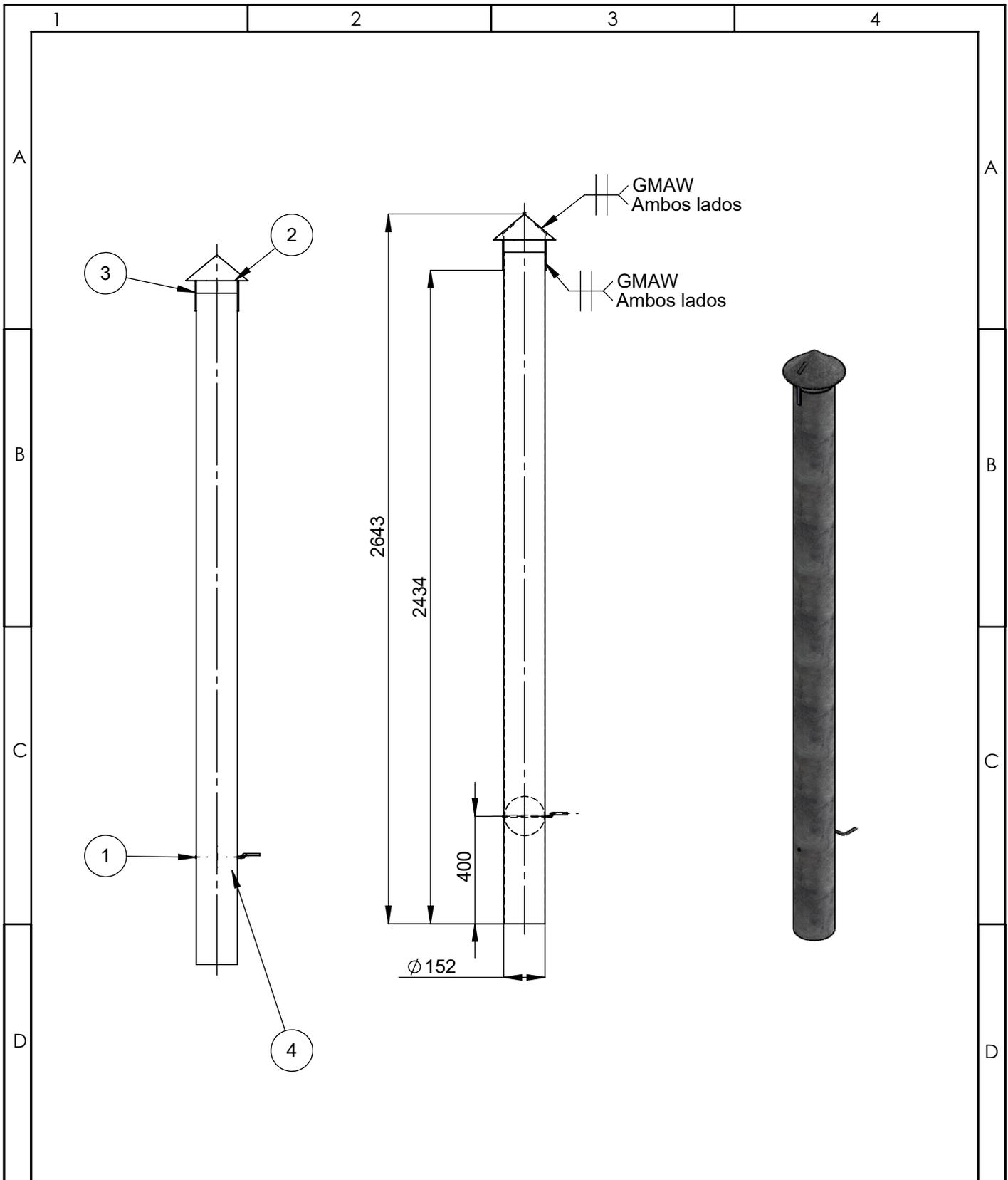
FECHA: 27-10-22



SECCIÓN F-F
ESCALA 1 : 15



TRAT. TÉRMICO:	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MICÁNICA
RECUBRIMIENTO:	N/A		
MATERIAL:	LADRILLO JABONCILLO	ESCALA 1:20	DIB: QUISHPE, LOACHAMIN
			TOL. GRAL.: ±5
			REV: ING. ANGEL PORTILLA
PAREDES COCINA		FIM-CE.101	FECHA: 27-10-22



4	C-1	VALVULA MARIPOSA	.204	1	ACERO GALVANIZADO	ESPEJOR 1.5 mm
3	A-1	SOPORTE CONO	.203	2	PLETINA	ANCHO 15 mm, ESPEJOR 4 mm
2	A-1	CONO	.202	1	ACERO GALVANIZADO	ESPEJOR 1.5 mm
1	C-1	DUCTO DE CHIMENEA	.201	1	ACERO GALVANIZADO	ESPEJOR 1.5 mm
N.º	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO/NORMA	CANT.	MATERIAL	DESCRIPCIÓN

EPN

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

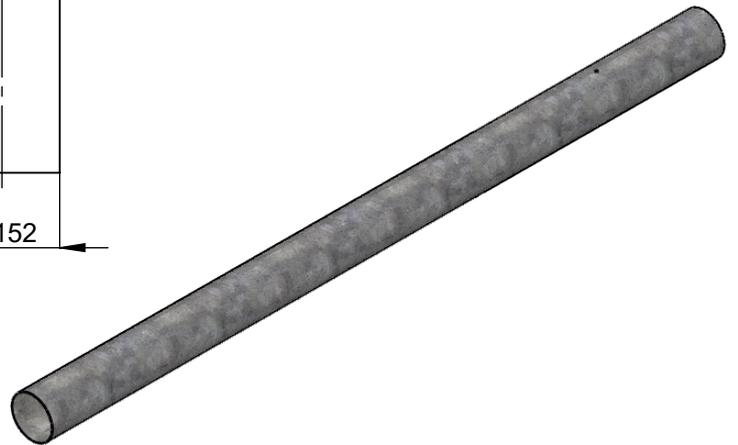
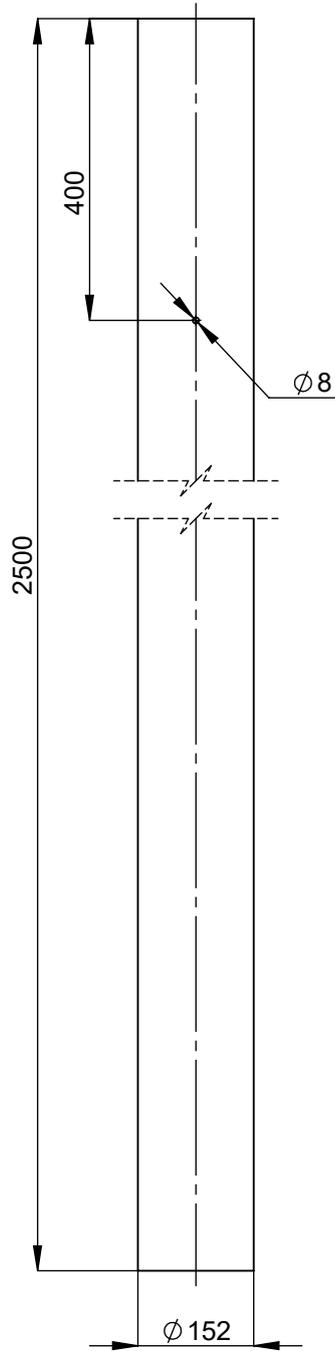
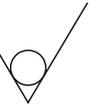
DIB: QUISHPE, LOACHAMIN
DIS: QUISHPE, LOACHAMIN
REV: ING. ANGEL PORTILLA

ESCALA 1:20

CHIMENEA

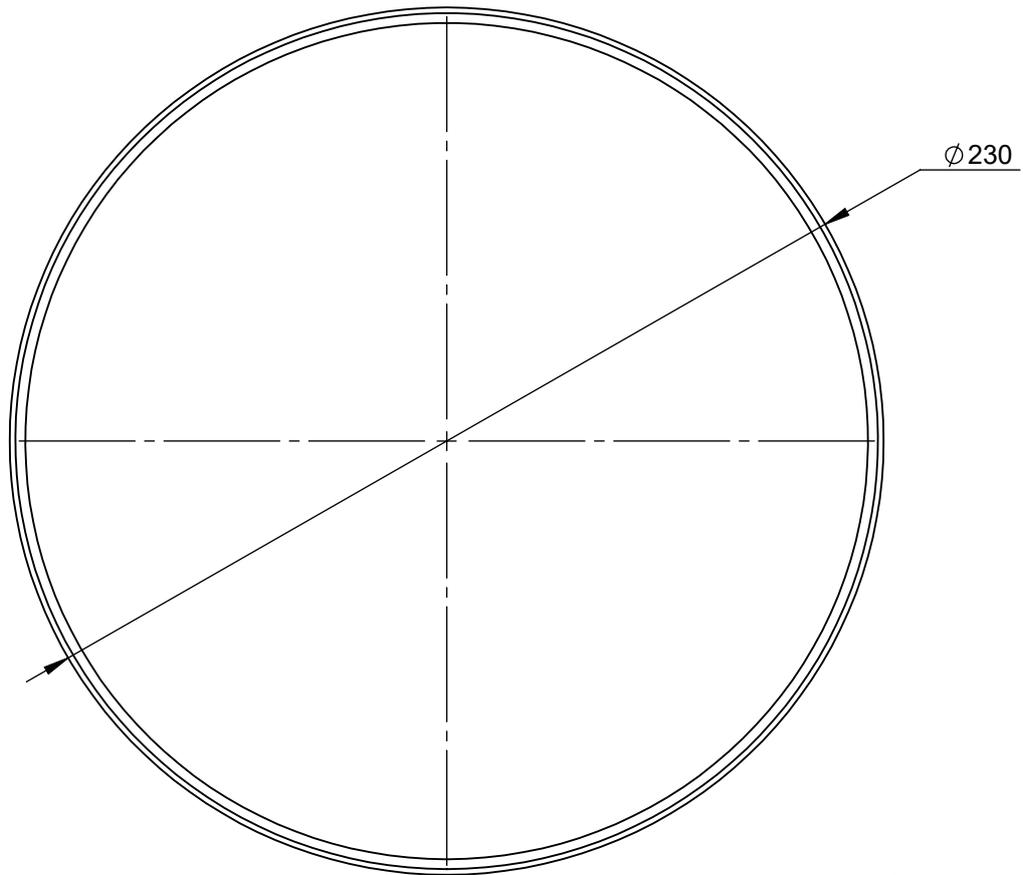
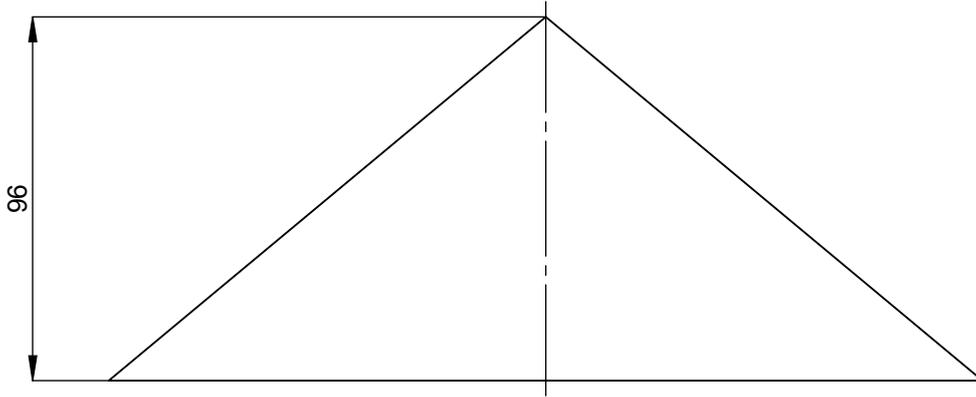
FIM-CE.002

FECHA: 27-10-22



Nota 1: Unir la plancha de
acero galvanizado con remaches
cada 5 cm

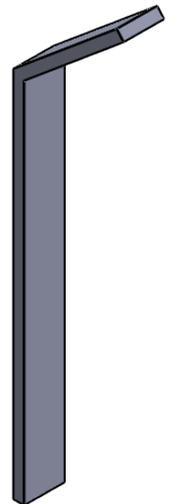
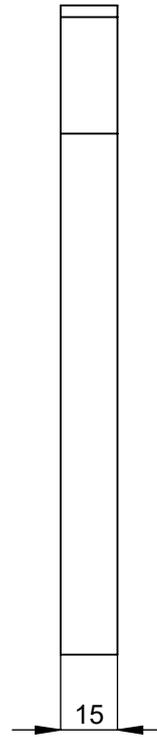
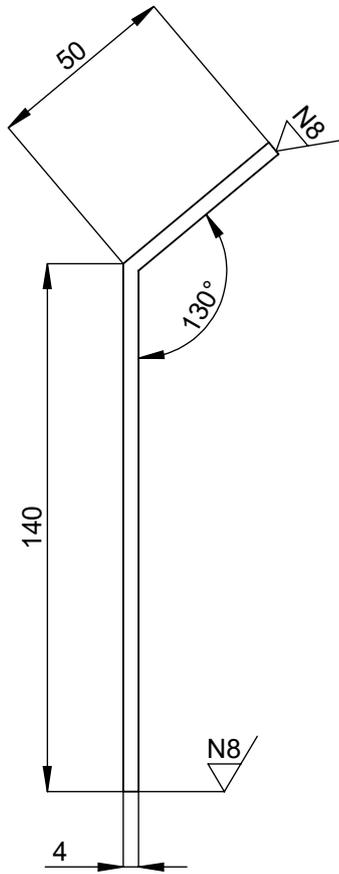
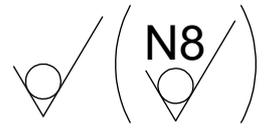
TRAT. TÉRMICO:	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	N/A		DIB:	QUISHPE, LOACHAMIN
MATERIAL: ACERO GALVANIZADO	TOL. GRAL.: ±2	ESCALA 1:10	DIS:	QUISHPE, LOACHAMIN
			REV:	ING. ANGEL PORTILLA
DUCTO DE CHIMENEA		FIM-CE.201		FECHA: 27-10-22



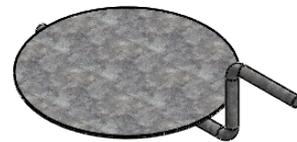
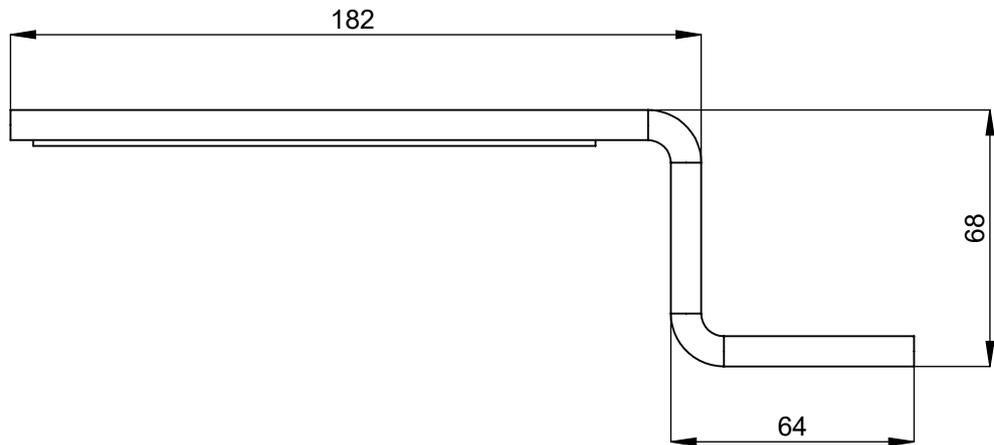
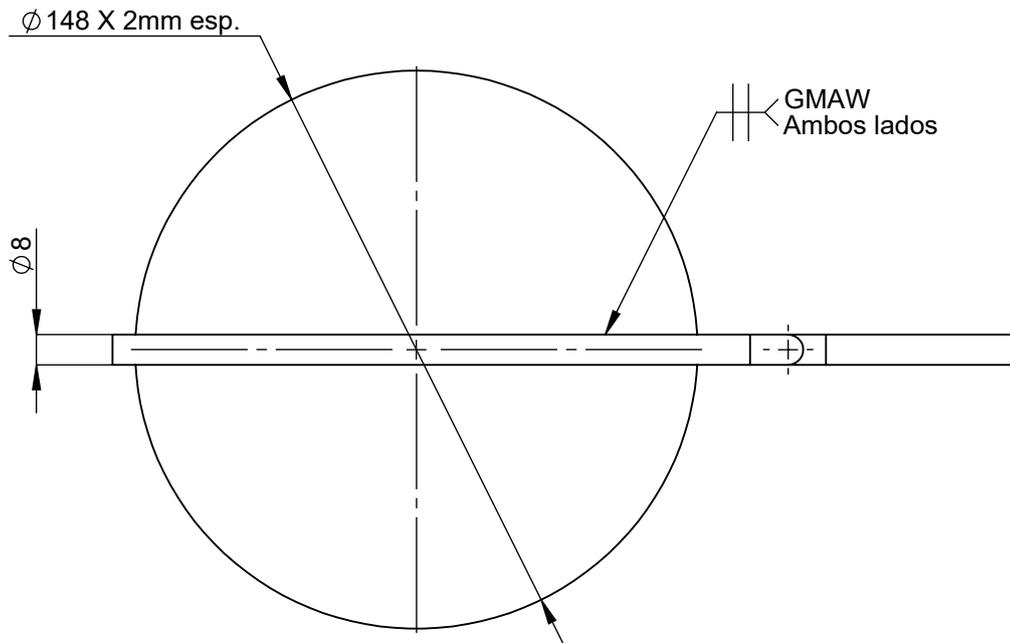
Nota 1: Unir la plancha de
acero galvanizado con remaches
cada 5 cm



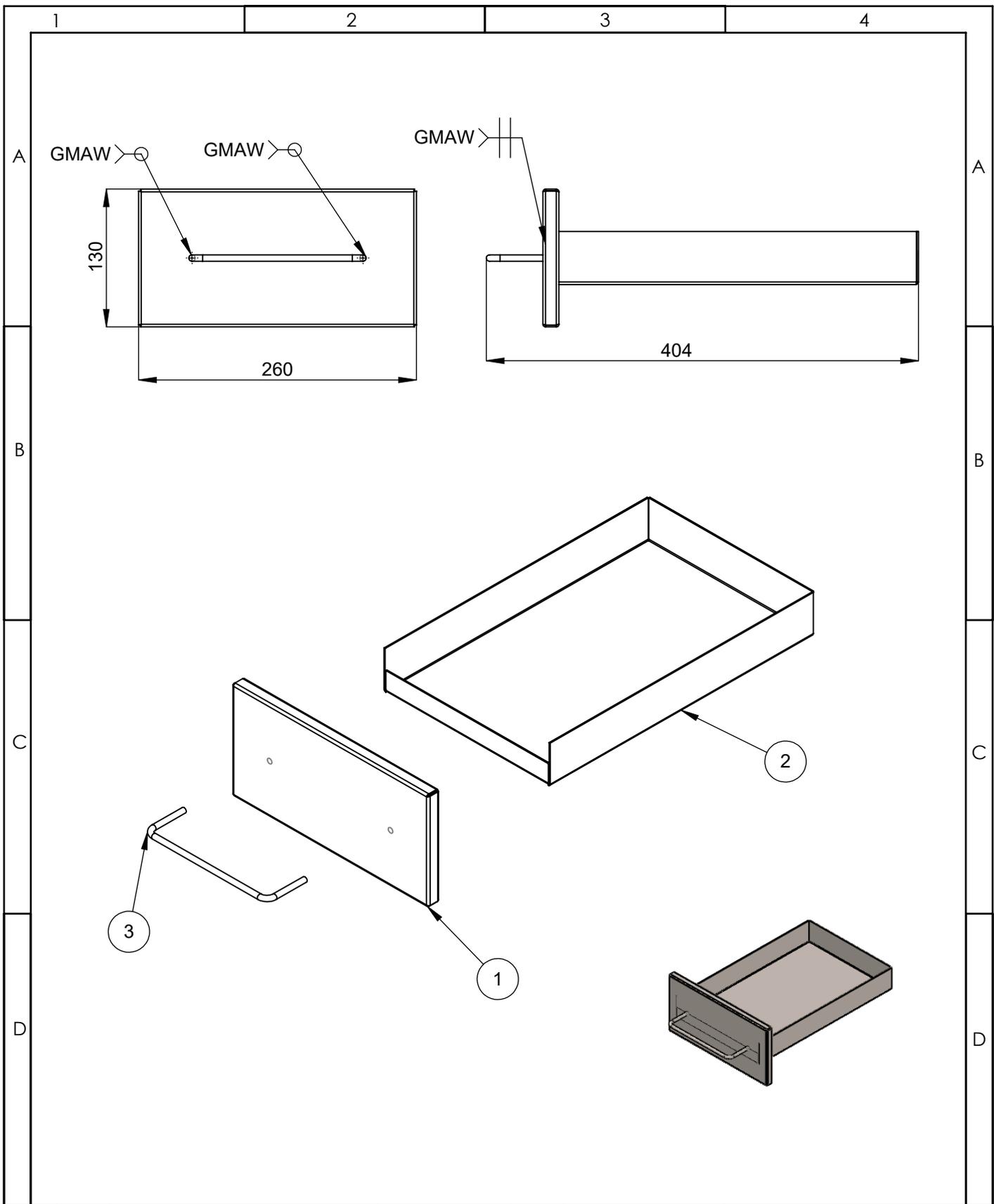
TRAT. TÉRMICO:	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MICÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	N/A		DIB:	QUISHPE, LOACHAMIN
MATERIAL: ACERO GALVANIZADO	TOL. GRAL.: ±2	ESCALA 1:2	DIS:	QUISHPE, LOACHAMIN
			REV:	ING. ANGEL PORTILLA
CONO		FIM-CE.202		FECHA: 27-10-22



TRAT. TÉRMICO:	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	N/A		DIB:	QUISHPE, LOACHAMIN
MATERIAL:	ASTM-A36	ESCALA 1:2	DIS:	QUISHPE, LOACHAMIN
			REV:	ING. ANGEL PORTILLA
	TOL. GRAL.: ±2		SOPORTE CONO	
		FIM-CE.203		FECHA: 27-10-22

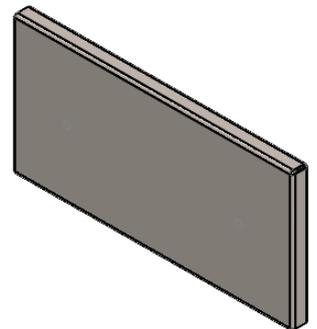
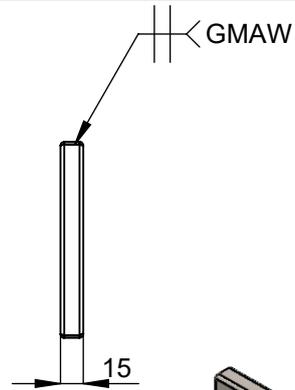
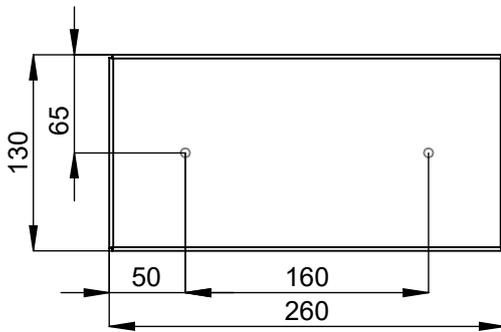
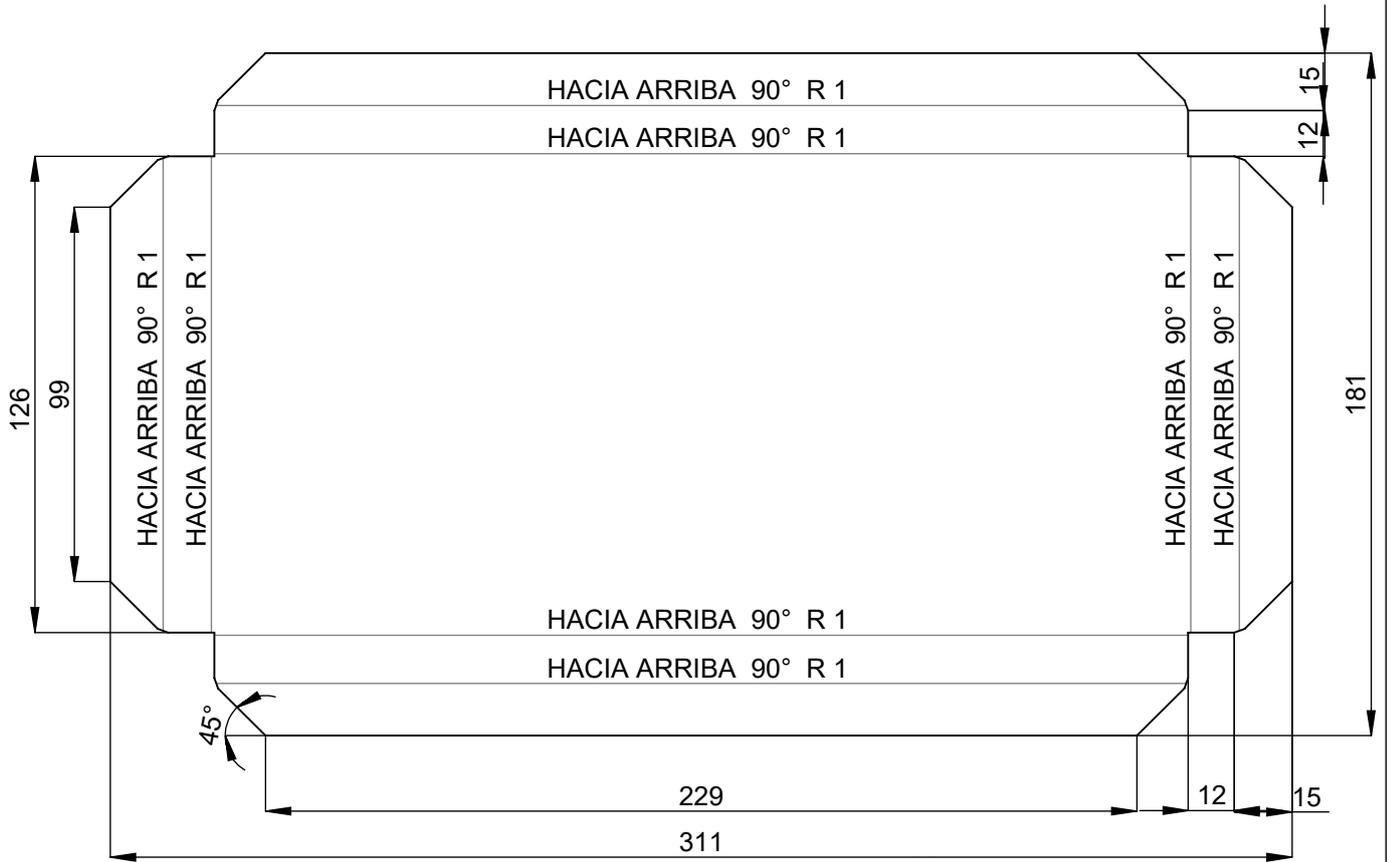
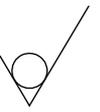


TRAT. TÉRMICO:	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MICÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	N/A		DIB:	QUISHPE, LOACHAMIN	
MATERIAL:	ACERO GALVANIZADO	TOL. GRAL.: ±2	ESCALA	DIS:	QUISHPE, LOACHAMIN
			1:2	REV:	ING. ANGEL PORTILLA
VALVULA MARIPOSA			FIM-CE.204	FECHA:	27-10-22



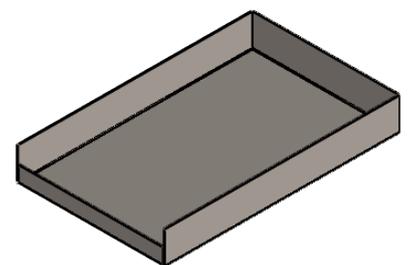
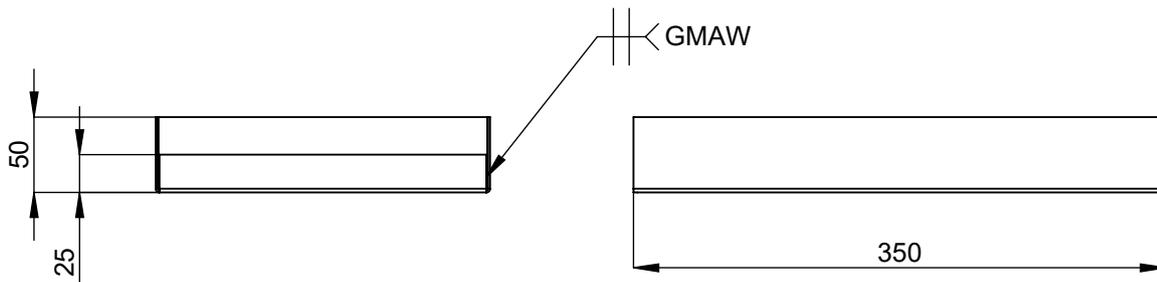
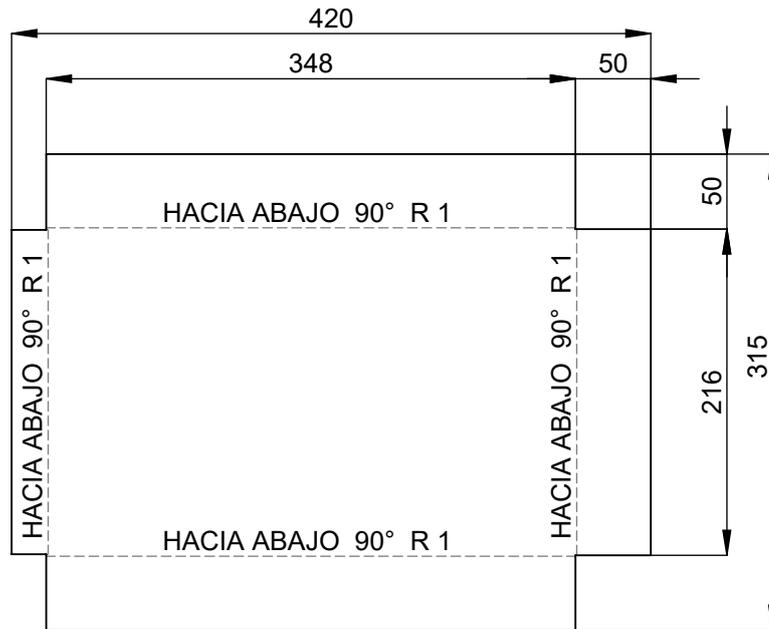
N.º	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO/NORMA	CANT.	MATERIAL	DESCRIPCIÓN
3	C-1	MANIJA CENICERO	.303	1	VARILLA LISA	D=8mm
2	C-3	CUERPO CENICERO	.302	1	ACERO INOXIDABLE	ESPESOR 1.5 mm
1	C-2	TAPA CENICERO	.301	1	ACERO INOXIDABLE	ESPESOR 1.5 mm

EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	DIB: QUISHPE, LOACHAMIN	ESCALA 1:5
		DIS: QUISHPE, LOACHAMIN	
		REV: ING. ANGEL PORTILLA	
CENICERO		FIM-CE.003	FECHA: 27-10-22



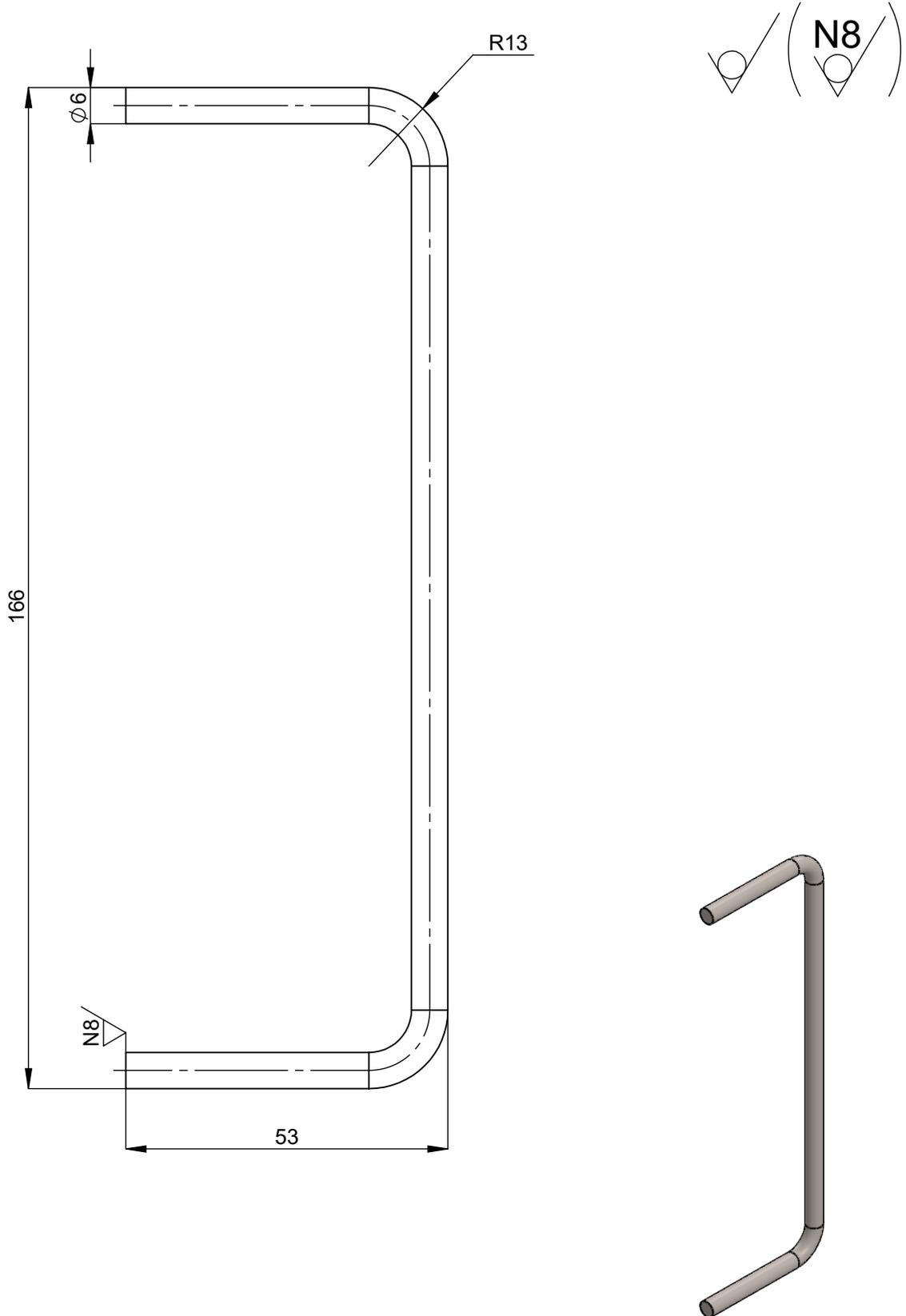
NOTA 1: Soldar las cuatro esquinas con el proceso GMAW

TRAT. TÉRMICO:	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MICÁNICA			
RECUBRIMIENTO:	N/A		DIB:	QUISHPE, LOACHAMIN		
MATERIAL:	ACERO INOXIDABLE	TOL. GRAL.: ±2	ESCALA	DIS:	QUISHPE, LOACHAMIN	
			1:5	REV:	ING. ANGEL PORTILLA	
TAPA CENICERO			FIM-CE.301	FECHA:	27-10-22	

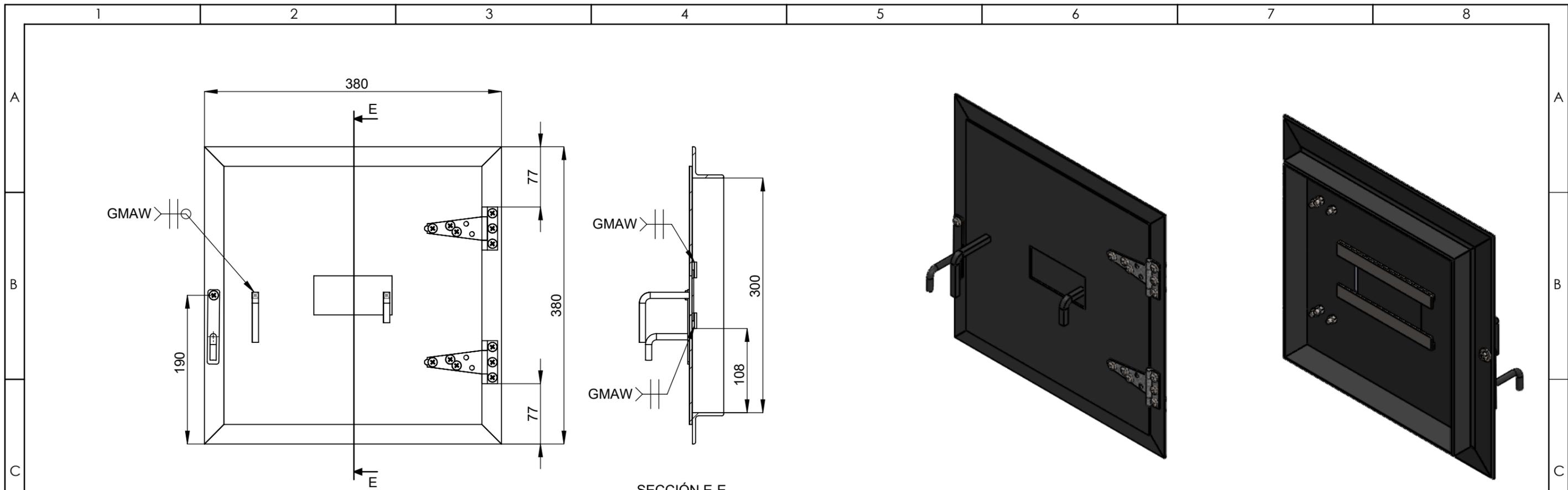


NOTA 1: Soldar todas las uniones con el proceso GMAW

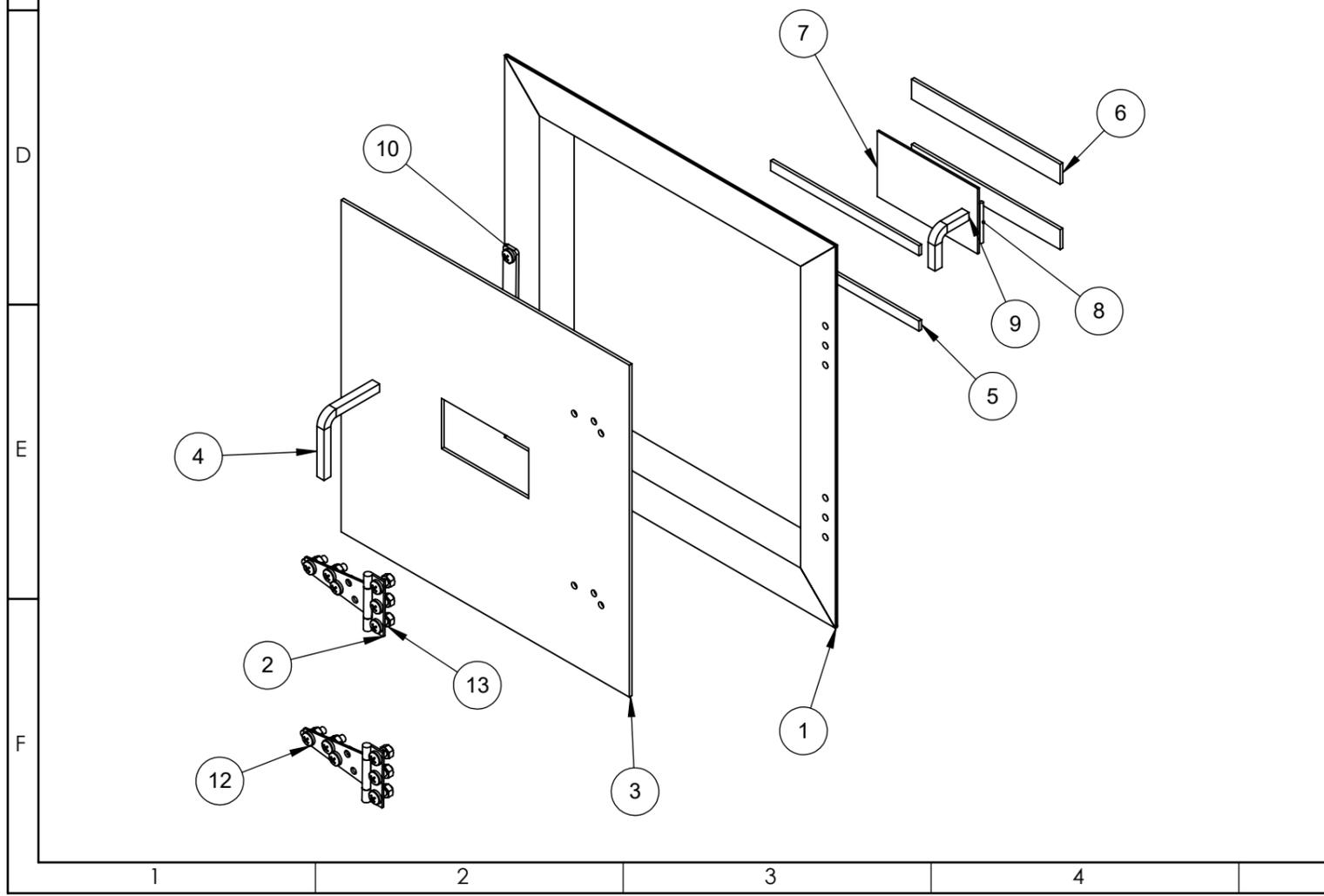
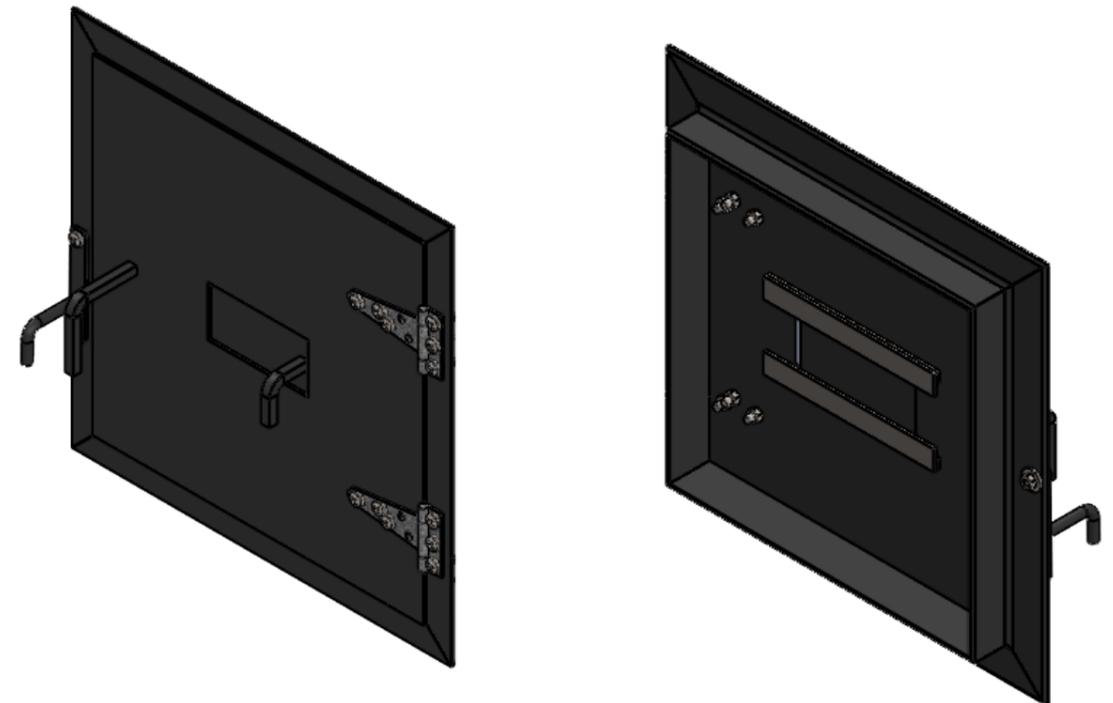
TRAT. TÉRMICO:	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MICÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	N/A		DIB:	QUISHPE, LOACHAMIN	
MATERIAL:	ACERO INOXIDABLE	TOL. GRAL.: ±2	ESCALA	DIS:	QUISHPE, LOACHAMIN
			1:5	REV:	ING. ANGEL PORTILLA
CUERPO CENICERO			FIM-CE.302	FECHA:	27-10-22



TRAT. TÉRMICO:	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	N/A		DIB:	QUISHPE, LOACHAMIN
MATERIAL: VARILLA LISA	TOL. GRAL.: ±2	ESCALA 1:1	DIS:	QUISHPE, LOACHAMIN
			REV:	ING. ANGEL PORTILLA
			MANIJA CENICERO	

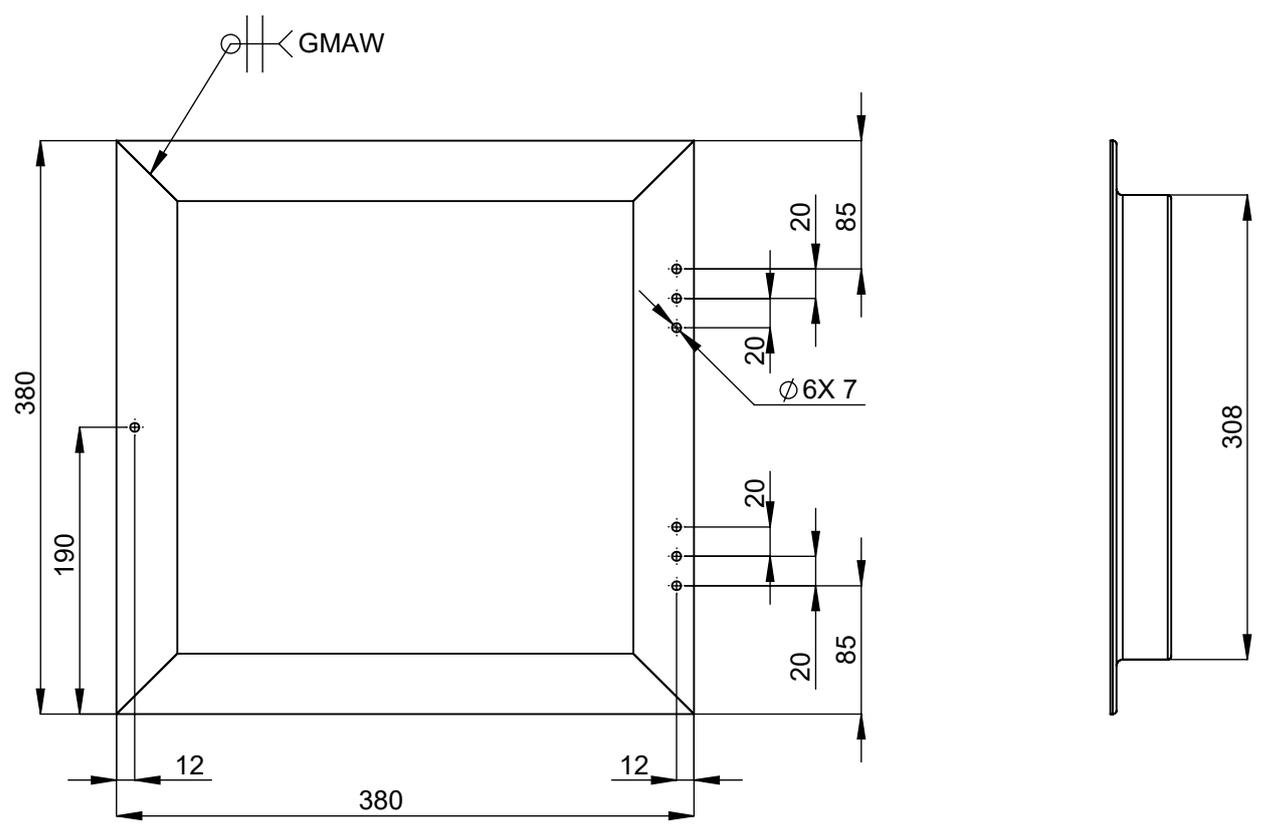


SECCIÓN E-E
ESCALA 1 : 5

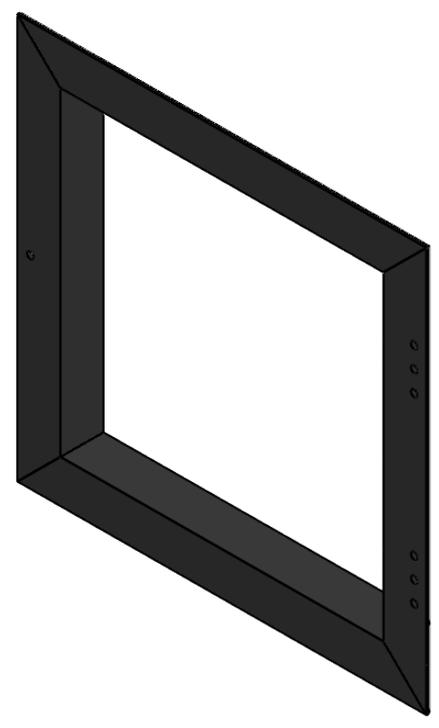


N.º	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO/NORMA	CANT.	MATERIAL	DESCRIPCIÓN
13	E-2	TUERCA HEXAGONAL M6	ASTM A194	13	ACERO	
12	F-2	TORNILLO M6X16	COMERCIAL	13	ACERO	
11	D-3	RODELA PLANA	ISO 7089	1	ACERO	
10	D-2	MANIJA MARCO	.406	1	ASTM A 36	
9	D-4	MANIJA DE PLANCHA CORREDIZA	.405	1	ASTM A 36	varilla cuadrada 8 mm
8	D-4	TOPE	COMERCIAL	1	ASTM A 36	D=5mm
7	D-4	PLANCHA CORREDIZA	.404	1	ASTM A 36	ESPESOR 1.5 mm
6	D-4	PLATINA 20X170	COMERCIAL	2	ASTM A 36	espesor 4mm
5	E-3	PLATINA 10X170	COMERCIAL	2	ASTM A 36	ESPESOR 4mm
4	E-2	MANIJA DE PLANCHA	.403	1	ASTM A 36	VARILLA CUADRADA 8 mm
3	E-2	PLANCHA	.402	1	ASTM A 36	ESPESOR 1.5 mm
2	E-2	VISAGRA V	COMERCIAL	2	ACERO GALVANIZADO	CENTRAR AL COLOCAR
1	E-3	PUERTA CÁMARA DE COMBUSTIÓN	.401	1	ASTM A-36	

EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	DIB:	QUISHPE, LOACHAMIN	ESCALA 1:5
		DIS:	QUISHPE, LOACHAMIN	
PUERTA CAMARA DE COMBUSTIÓN		REV:	ING. ANGEL PORTILLA	FECHA: 27-10-22
			FIM-CE.004	

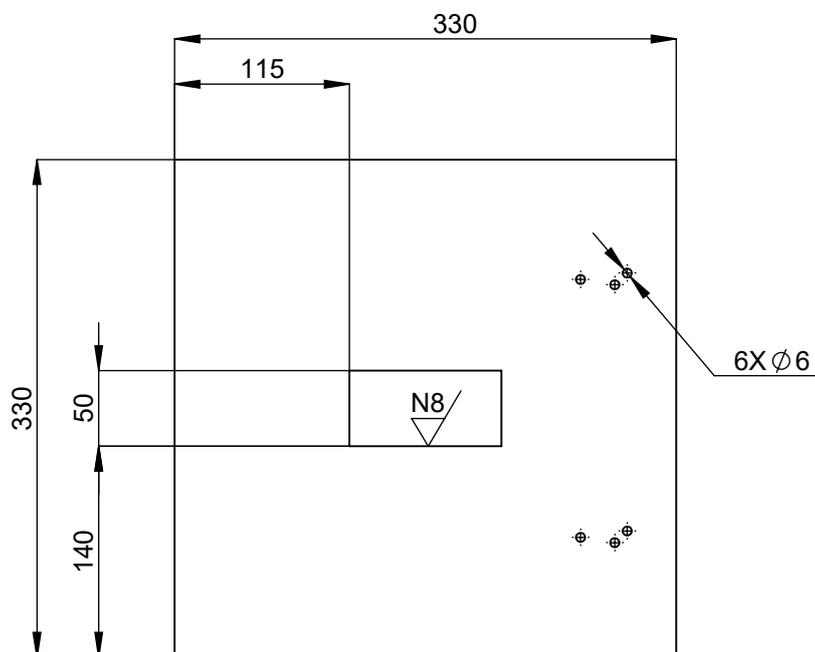


NOTA 1: Soldar todas las uniones con el proceso GMAW

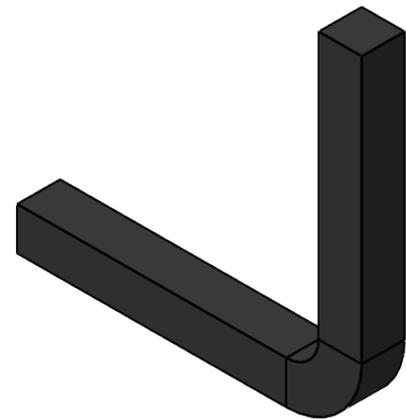
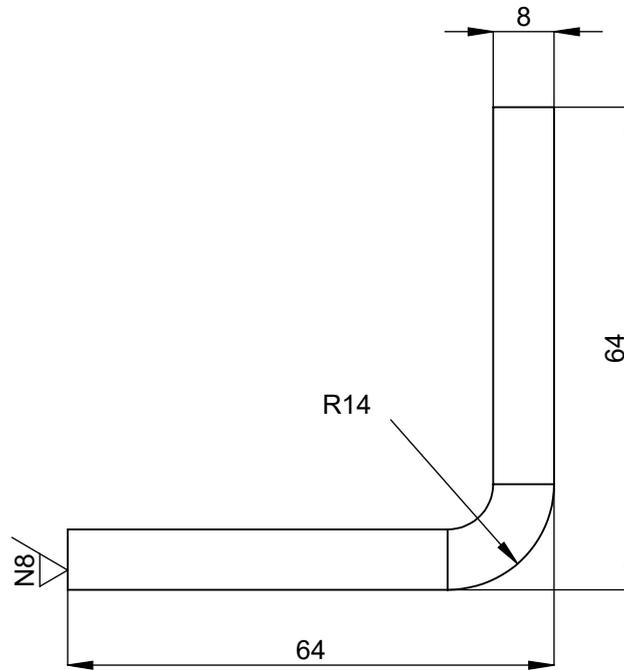


TRAT. TÉRMICO:	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MICÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	PINTURA		DIB:	QUISHPE, LOACHAMIN	
MATERIAL:	ASTM-A36, ANGULO 40X40 mm	TOL. GRAL.: ±2	ESCALA	DIS:	QUISHPE, LOACHAMIN
			1:5	REV:	ING. ANGEL PORTILLA
MARCO DE PUERTA		FIM-CE.401		FECHA:	27-10-22

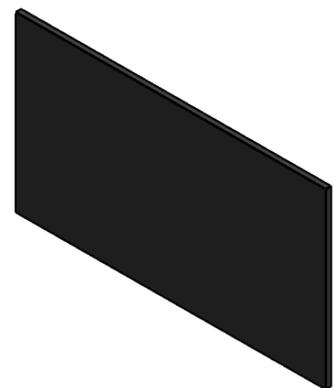
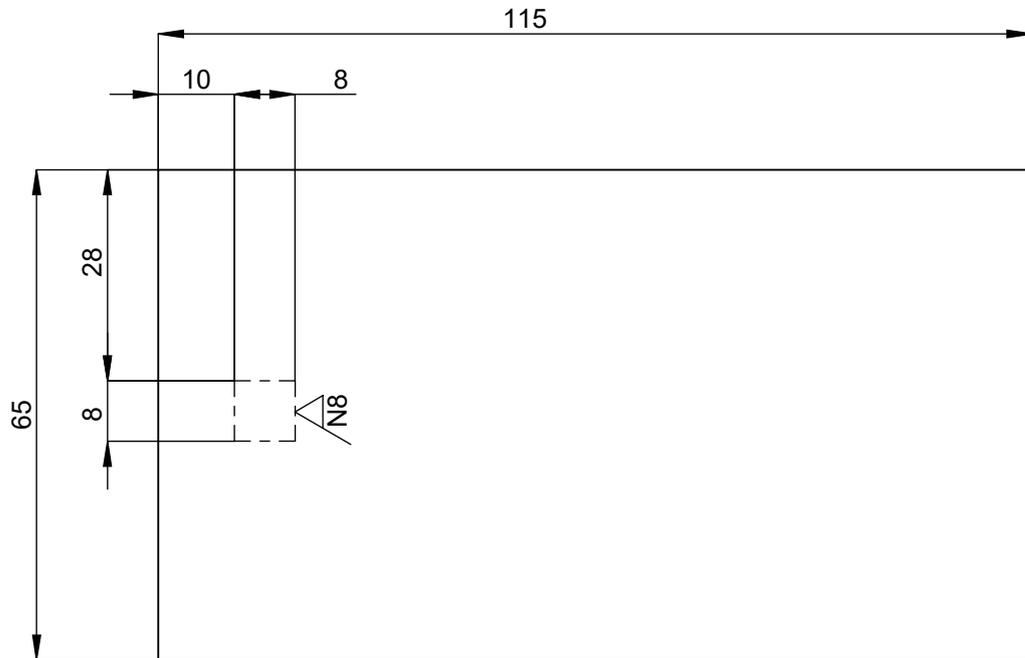
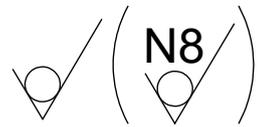
✓ (N8) ✓



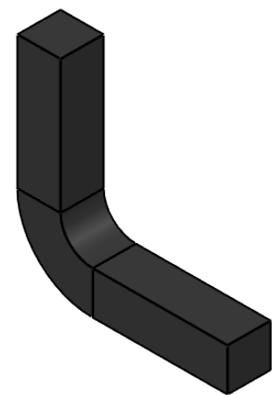
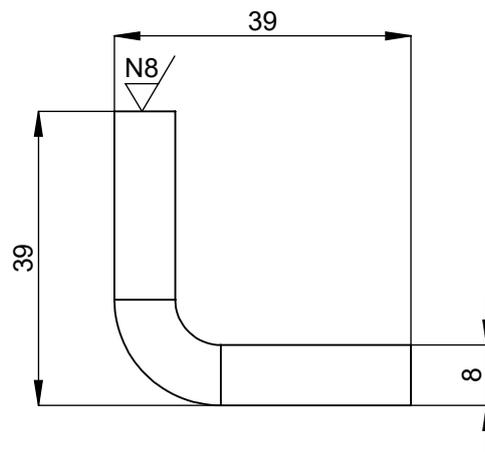
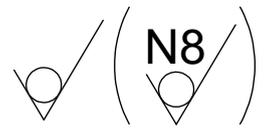
TRAT. TÉRMICO:	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MICÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	PINTURA		DIB:	QUISHPE, LOACHAMIN	
MATERIAL:	PLANCHA ASTM-A36, ESP:1.5 mm	TOL. GRAL.: ±2	ESCALA	DIS:	QUISHPE, LOACHAMIN
			1:5	REV:	ING. ANGEL PORTILLA
PLANCHA		FIM-CE.402		FECHA: 27-10-22	



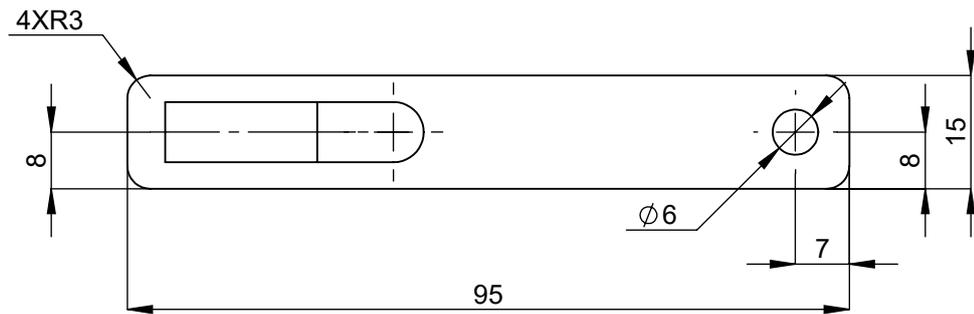
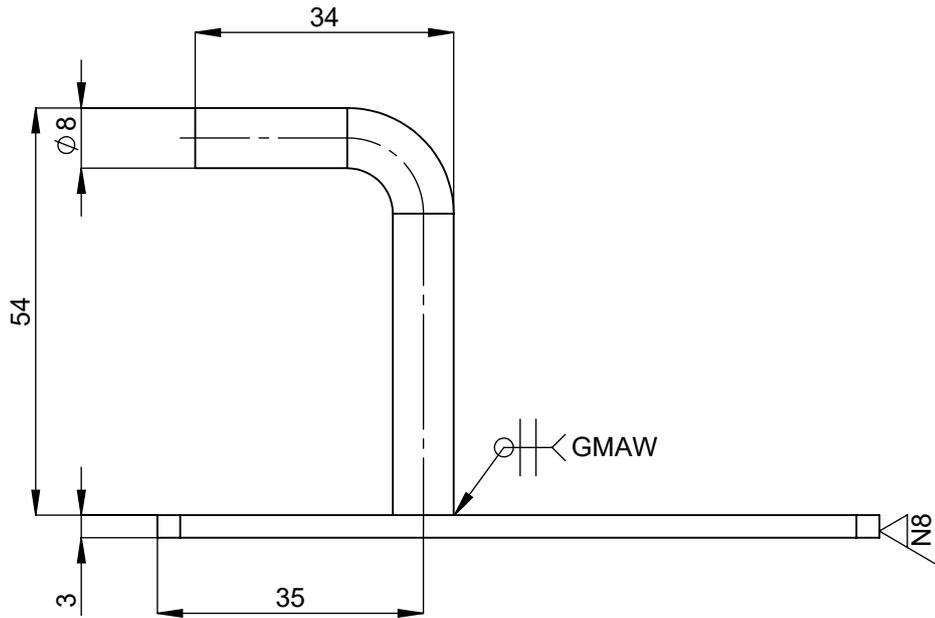
TRAT. TÉRMICO:	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MICÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	PINTURA		DIB:	QUISHPE, LOACHAMIN	
MATERIAL:	ACERO ASTM A-36	TOL. GRAL.: ±2	ESCALA	DIS:	QUISHPE, LOACHAMIN
			1:1	REV:	ING. ANGEL PORTILLA
MANIJA PLANCHA			FIM-CE.403	FECHA:	27-10-22



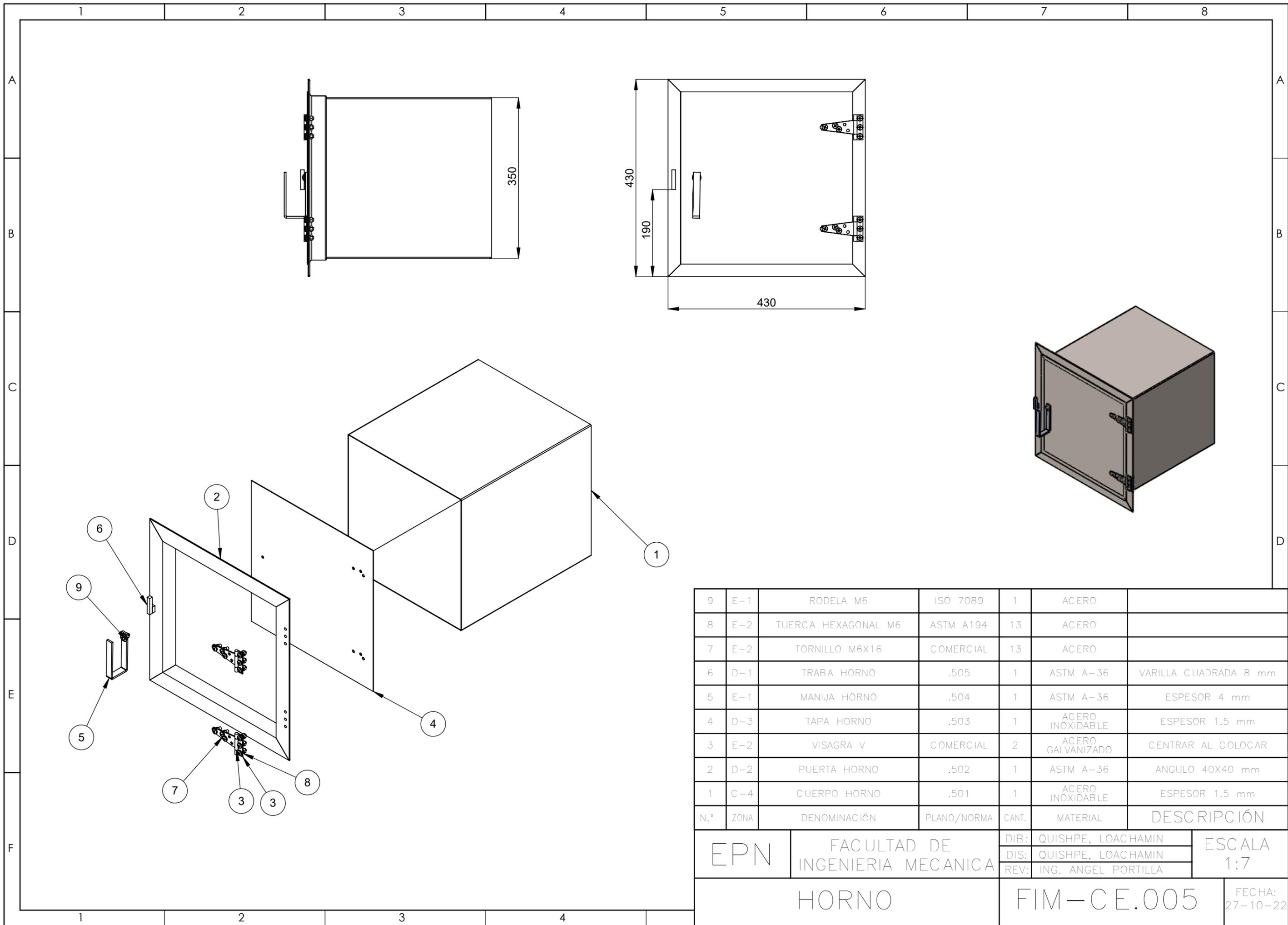
TRAT. TÉRMICO:	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	PINTURA		DIB:	QUISHPE, LOACHAMIN	
MATERIAL:	PLANCHA ASTM A-36, ESP_ 1.5mm	TOL. GRAL.: ±2	ESCALA	DIS:	QUISHPE, LOACHAMIN
			1:1	REV:	ING. ANGEL PORTILLA
PLANCHA CORREDIZA		FIM-CE.404		FECHA: 27-10-22	



TRAT. TÉRMICO:	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	PINTURA		DIB:	QUISHPE, LOACHAMIN	
MATERIAL:	ACERO ASTM A-36	TOL. GRAL.: ±2	ESCALA	DIS:	QUISHPE, LOACHAMIN
			1:1	REV:	ING. ANGEL PORTILLA
MANIJA DE PLANCHA CORREDIZA			FIM-CE.405	FECHA:	27-10-22



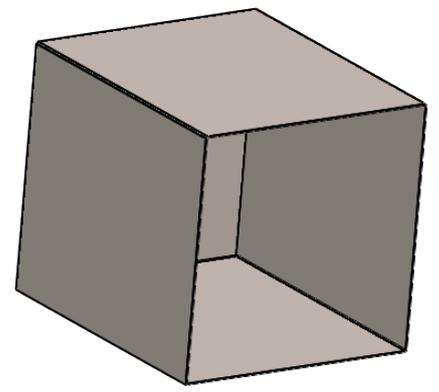
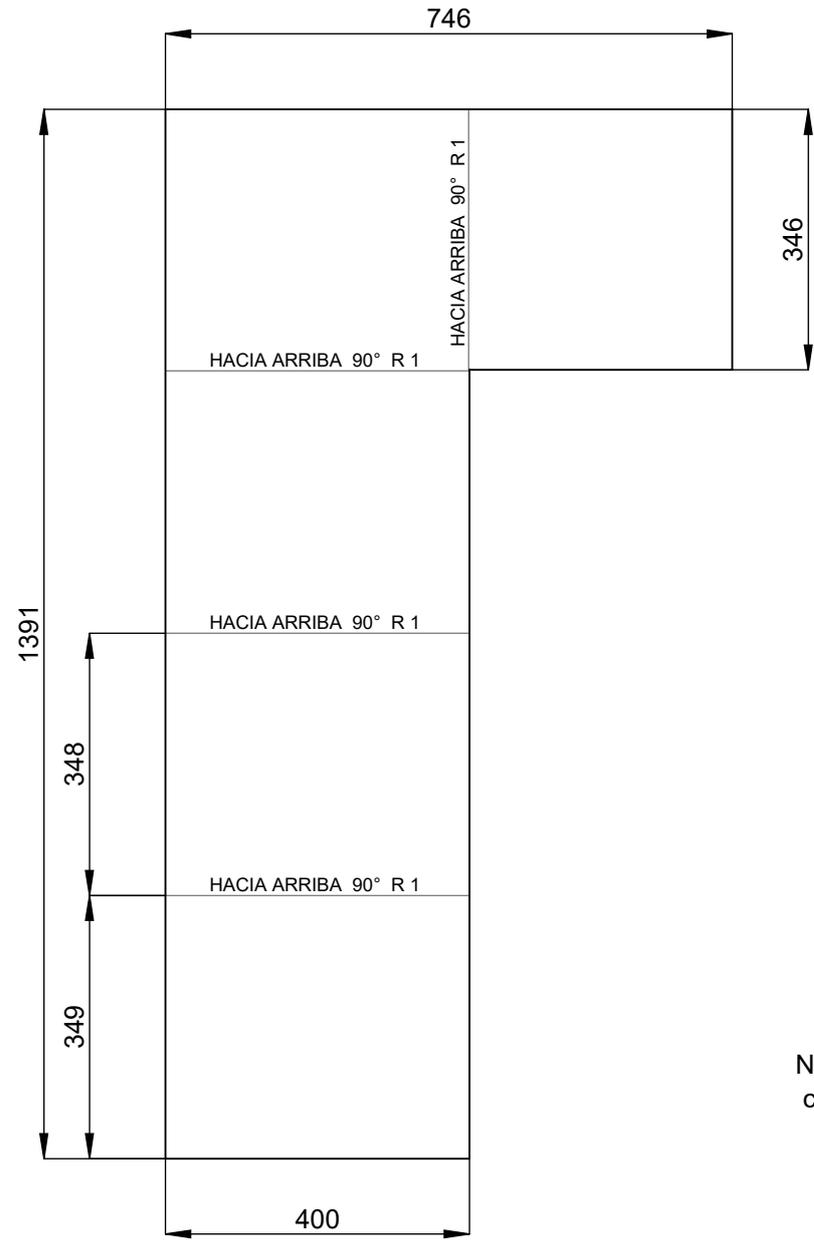
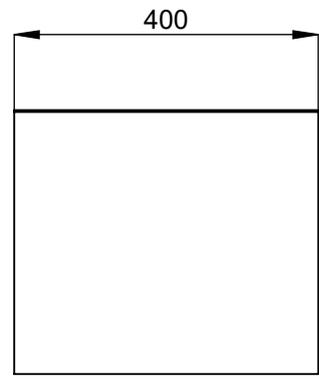
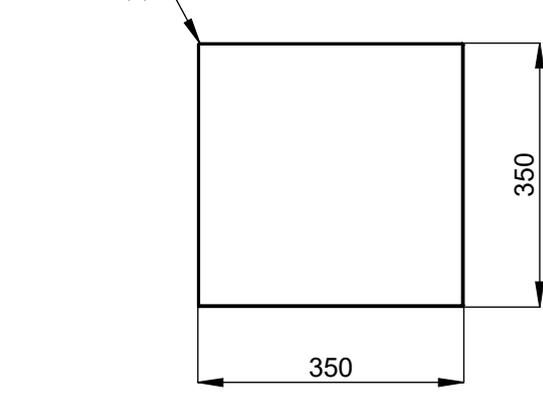
TRAT. TÉRMICO:	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MICÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	PINTURA		DIB:	QUISHPE, LOACHAMIN
MATERIAL:	ACERO ASTM A-36	ESCALA 1:1	DIS:	QUISHPE, LOACHAMIN
	TOL. GRAL.: ±2		REV:	ING. ANGEL PORTILLA
MANIJA MARCO		FIM-CE.406		FECHA: 27-10-22



9	E-1	RODELA M6	ISO 7089	1	ACERO	
8	E-2	TUERCA HEXAGONAL M6	ASTM A194	13	ACERO	
7	E-2	TORNILLO M6X16	COMERCIAL	13	ACERO	
6	D-1	TRABA HORNO	.505	1	ASTM A-36	VARILLA CUADRADA 8 mm
5	E-1	MANIJA HORNO	.504	1	ASTM A-36	ESPESOR 4 mm
4	D-3	TAPA HORNO	.503	1	ACERO INOXIDABLE	ESPESOR 1.5 mm
3	E-2	VISAGRA V	COMERCIAL	2	ACERO GALVANIZADO	CENTRAR AL COLOCAR
2	D-2	PUERTA HORNO	.502	1	ASTM A-36	ANGULO 40X40 mm
1	C-4	CUERPO HORNO	.501	1	ACERO INOXIDABLE	ESPESOR 1.5 mm
N.º	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO/NORMA	CANT.	MATERIAL	DESCRIPCIÓN

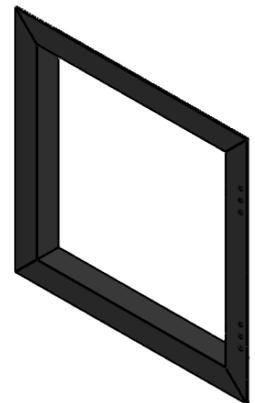
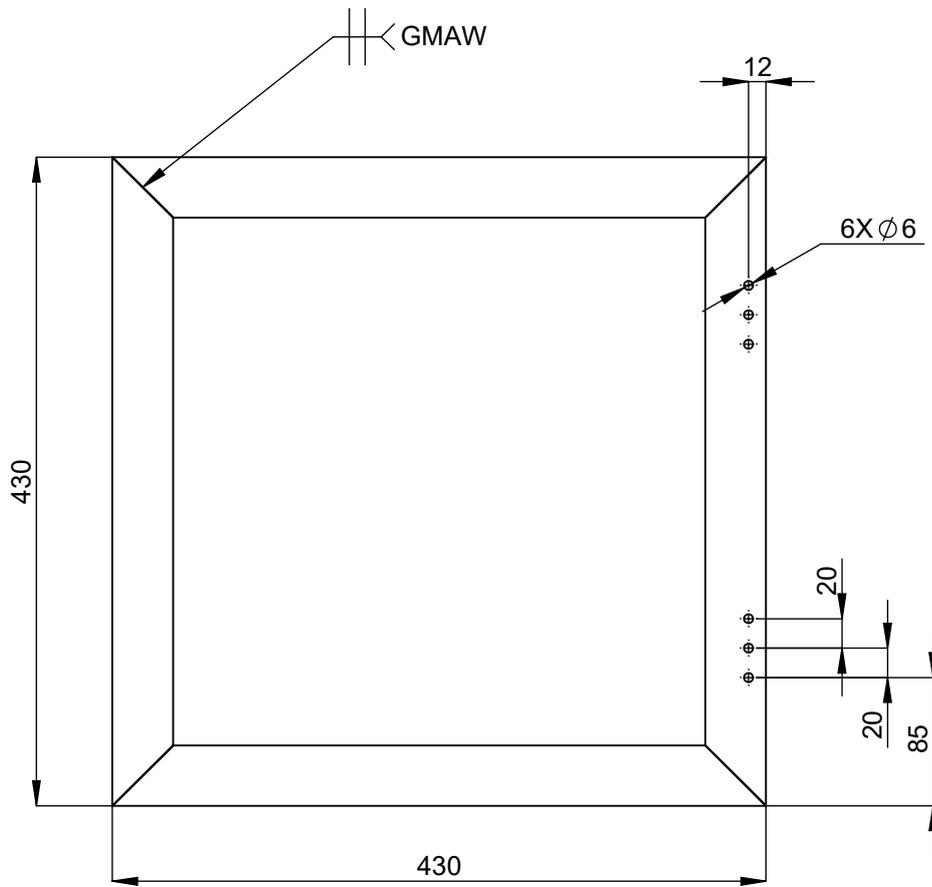
EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		DIB:	QUISHPE, LOACHAMIN	ESCALA 1:7
	HORNO		DIS:	QUISHPE, LOACHAMIN	
			REV:	ING. ANGEL PORTILLA	
FIM-CE.005			FECHA: 27-10-22		

GMAW



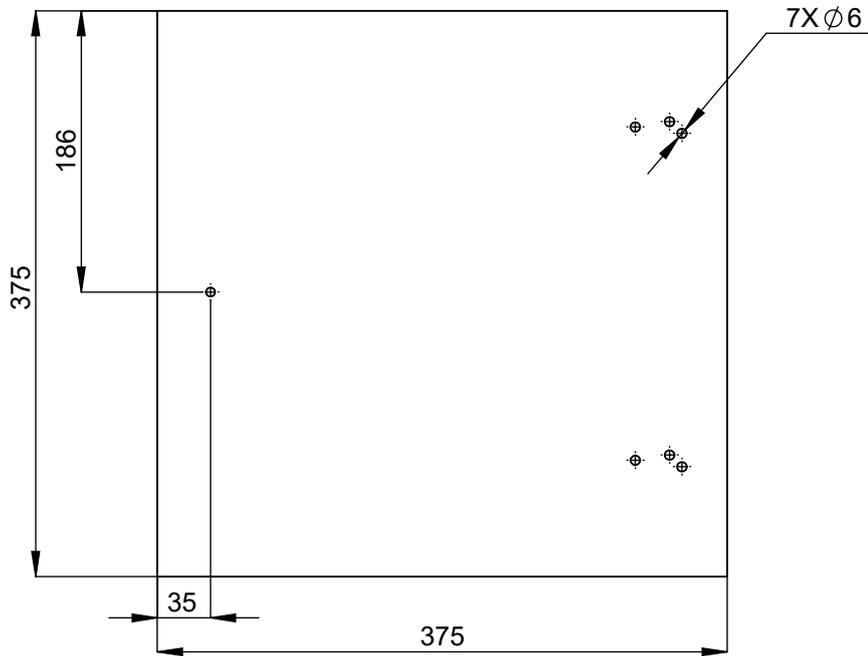
NOTA 1: Soldar todas las uniones con el proceso GMAW

TRAT. TÉRMICO:	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MICÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	N/A		DIB:	QUISHPE, LOACHAMIN
MATERIAL:	ACERO INOXIDABLE	TOL. GRAL.: ±2	ESCALA	DIS:
			1:10	QUISHPE, LOACHAMIN
				REV:
HORNO		FIM-CE.501		FECHA: 27-10-22

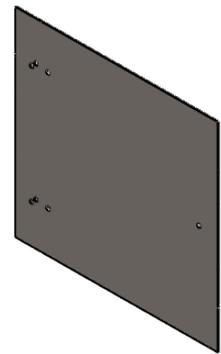


NOTA 1: Soldar todas las uniones con el proceso GMAW

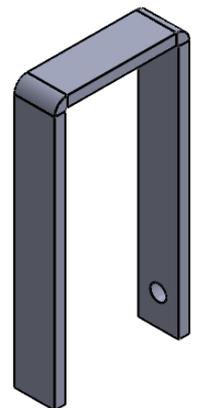
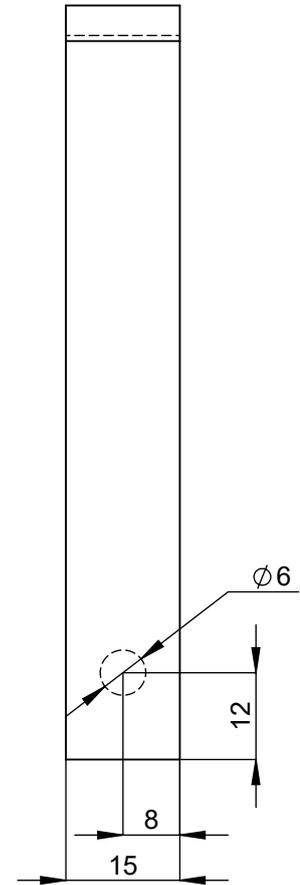
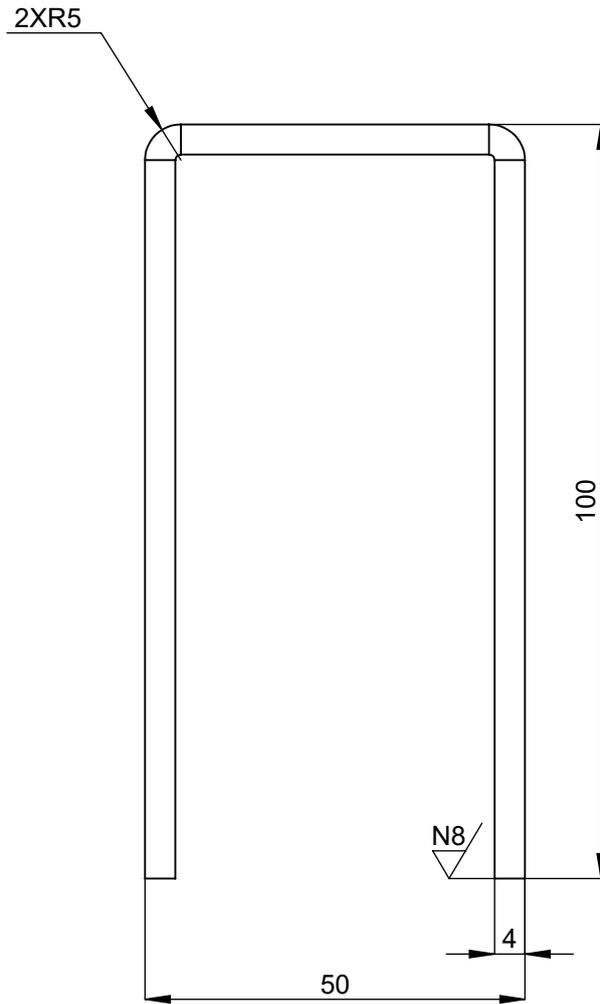
TRAT. TÉRMICO:	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MICÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	PINTURA		DIB:	QUISHPE, LOACHAMIN	
MATERIAL:	ASTMA-36, ANGULO 40X40 mm	TOL. GRAL.: ±2	ESCALA	DIS:	QUISHPE, LOACHAMIN
			1:5	REV:	ING. ANGEL PORTILLA
PUERTA HORNO		FIM-CE.502		FECHA:	27-10-22



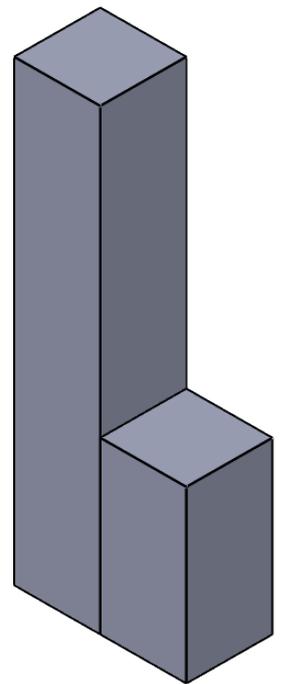
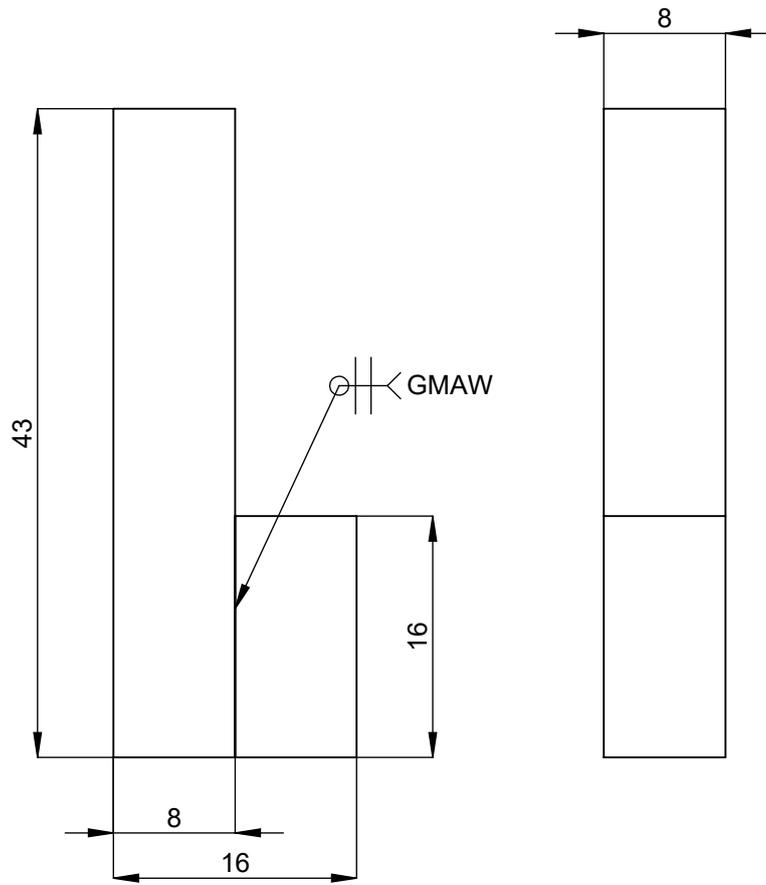
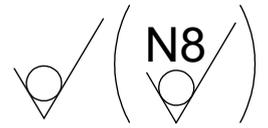
NOTA 1: Soldar todas las uniones con el proceso GMAW
NOTA 2: Las perforaciones se harán de acuerdo a las mediciones de las visagras



TRAT. TÉRMICO:	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	N/A		DIB:	QUISHPE, LOACHAMIN
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE, ESP: 1.5 mm	TOL. GRAL.: ±2	ESCALA 1:5	DIS:	QUISHPE, LOACHAMIN
			REV:	ING. ANGEL PORTILLA
TAPA HORNO		FIM-CE.503	FECHA: 27-10-22	



TRAT. TÉRMICO:	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MICÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	PINTURA		DIB:	QUISHPE, LOACHAMIN
MATERIAL:	ASTM A-36	TOL. GRAL.: ±2	ESCALA 1:1	DIS: QUISHPE, LOACHAMIN
				REV: ING. ANGEL PORTILLA
MANIJA HORNO		FIM-CE.504		FECHA: 27-10-22



TRAT. TÉRMICO:	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MICÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	PINTURA		DIB:	QUISHPE, LOACHAMIN
MATERIAL:	ASTM A-36	ESCALA 2:1	DIS:	QUISHPE, LOACHAMIN
			REV:	ING. ANGEL PORTILLA
	TOL. GRAL.: ±2			
TRABA HORNO		FIM-CE.505		FECHA: 27-10-22