



UNIVERSIDAD NACIONAL
de MAR DEL PLATA



Facultad de
Ingeniería
Universidad Nacional de Mar del Plata

*“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTUFA ROCKET E
INTERCAMBIADOR DE CALOR MODULAR PARA CLIMATIZACIÓN
AMPLIADA”*

NOVIEMBRE 2019

AUTORA

FLEGO, DAIANA MARIEL

EVALUADORES

CALDERA, MARTIN
COLOMBO, DIEGO
CAMINO, FEDERICO

DIRECTOR

ZUCAL, RICARDO DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA – FI – UNMDP



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



Diseño y construcción de estufa Rocket e intercambiador de calor modular para climatización ampliada

Proyecto de final de carrera de Ingeniería Mecánica.

Daiana Mariel Flego.

Universidad nacional de Mar del Plata
Facultad de Ingeniería



UNIVERSIDAD NACIONAL
de MAR DEL PLATA



Facultad de
Ingeniería
Universidad Nacional de Mar del Plata

*“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTUFA ROCKET E
INTERCAMBIADOR DE CALOR MODULAR PARA CLIMATIZACIÓN
AMPLIADA”*

NOVIEMBRE 2019

AUTORA

FLEGO, DAIANA MARIEL

EVALUADORES

CALDERA, MARTIN
COLOMBO, DIEGO
CAMINO, FEDERICO

DIRECTOR

ZUCAL, RICARDO DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA – FI – UNMDP

La ejecución y composición de este proyecto esta dedicado a mi familia quienes me apoyaron y motivaron durante estos años de aprendizaje, desarrollo personal y profesional.

También esta dedicado a todas las personas del B° *Playa los Lobos*, tanto por brindarnos la confianza y la oportunidad de continuar formando lazos de compromiso social y medioambiental como también de poder transmitir a la comunidad herramientas técnicas para beneficiar su calidad de vida.

A mi director de proyecto, Ricardo Zucal, por brindarme la oportunidad de formar parte de este programa de talleres, por sus consejos y predisposición que han sido sumamente valiosos.

Al grupo de *Energia – Una alternativa Social* por generar el motor de compromiso e intercambio con la comunidad, por buscar, hacer, involucrar y compartir el conocimiento y la ingeniería en la sociedad, por los momentos compartidos y por la experiencia vivida y ganada.

Gracias!

ABSTRACT	7
RESUMEN	7
1. INTRODUCCIÓN	7
2. COMUNIDAD	8
2.1. CAPACITACIÓN	9
3. ENERGIA	14
3.1. TIPOS Y PRODUCCIÓN	14
3.2. ENERGIA ELÉCTRICA	15
3.3. GAS NATURAL - HIDROCARBUROS	18
3.4. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL USO RESIDENCIAL	21
4. CONSUMO Y COMBUSTIÓN	23
4.1. CONSUMO	23
4.2. COMBUSTIÓN	24
5. TIPOS DE ESTUFA	27
5.1. HOGARES ABIERTOS	27
5.2. SALAMANDRAS Y ESTUFAS DE HIERRO	27
5.3. ESTUFAS DE ALTO RENDIMIENTO	27
6. FUNCIONAMIENTO DE ESTUFAS ROCKET	28
6.1. ALIMENTACIÓN E INERCIA TÉRMICA	28
6.2. PARTES Y PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO	28
7. DISPOSICIÓN EN EL AMBIENTE.	30
7.1. UBICACIÓN	30
8. INTERCAMBIADOR DE CALOR	32
8.1. DEFINICIÓN	32
8.2. TIPOS DE INTERCAMBIADOR	33
9. DISEÑO Y ANÁLISIS DEL MODELO	34
9.1. PRIMER DISEÑO Y MEJORAS	34
9.2. SEGUNDO DISEÑO	34
9.3. TERCER DISEÑO	35
10. TRANSFERENCIA DE CALOR	37
10.1. FUNDAMENTOS Y PRINCIPIOS	37
10.2. MODOS DE TRANSFERENCIA	38
10.3. CONDUCCIÓN	38
10.4. CONVECCIÓN	39
10.5. RADIACIÓN	39
10.6. INERCIA TÉRMICA	39
10.7. TRANSFERENCIA DE CALOR DESDE SUPERFICIES EXTENDIDAS	40
11. MATERIALES Y PROPIEDADES TERMO-FÍSICAS	40

11.1.	TRANSFERENCIA CONDUCTIVA	40
11.1.	TRANSFERENCIA CONVECTIVA	42
12.	TEORÍA DE CHIMENEAS	45
13.	VALIDACIÓN POR MÉTODO NUMÉRICO.	47
13.1.	FLUJO NATURAL	47
13.2.	CALCULO DEL CONVECTIVO INTERNO DEL AIRE EN CONVECCIÓN LIBRE	50
13.1.	CALCULO DEL CONVECTIVO EXTERNO DEL AIRE EN CONVECCIÓN LIBRE	54
13.2.	RESISTENCIA TÉRMICA Y TRANSFERENCIA DE CALOR.	56
13.2.1.	PERDIDAS DE CARGA	59
13.3.	AISLACIÓN	60
14.	TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN	63
14.1.	MATERIALES Y EQUIPAMIENTO	63
14.2.	PANTÓGRAFO	64
14.3.	ROLADO	66
14.4.	SOLDADURA	68
14.4.1.	GMAW Y GTAW	68
14.4.2.	SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO	69
14.4.3.	PROCESO DE SOLDADURA	70
15.	PROYECTO DE INVERSIÓN PARA PRODUCCIÓN DE INTERCAMBIADORES MODULARES.	71
15.1.	RESUMEN EJECUTIVO	71
15.2.	ANTECEDENTES	71
15.3.	ANÁLISIS DEL MERCADO	72
15.3.1.	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO Y USOS	72
15.3.2.	ASPECTOS GENERALES DEL SECTOR PRODUCTIVO	72
15.3.3.	DEMANDA	72
15.3.4.	OFERTA	73
15.3.5.	CANALES DE COMERCIALIZACIÓN.	74
15.3.6.	CARACTERIZACIÓN DE LA COMPETENCIA	74
15.3.7.	SEGMENTACIÓN DEL MERCADO	74
15.4.	INGENIERÍA DE LA PRODUCCIÓN	75
15.4.1.	CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN	75
15.4.2.	EQUIPOS DE PROCESO.	75
15.4.3.	ETAPAS DEL PROCESO PRODUCTIVO	78
15.4.3.1.	ETAPA DE CORTE	79
15.4.3.1.	ETAPA DE ROLADO	79
15.4.3.2.	ETAPA DE SOLDADO	79
15.4.4.	ESPECIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS PARA CADA ETAPA DEL PROCESO	80
15.4.5.	DETERMINACIÓN DE LOS METROS CUADRADOS DE CONSTRUCCIÓN, MATERIALES.	80
15.4.6.	DETERMINACIÓN DEL LAYOUT DE LA PLANTA.	81
15.4.7.	CÁLCULO DE LOS FACTORES VARIABLES	82
15.4.7.1.	MATERIA PRIMA	82
15.4.7.2.	COSTO HORAS-HOMBRE Y SUPERVISIÓN	82
15.4.7.3.	SERVICIOS	82
15.5.	ASPECTOS ADMINISTRATIVOS	83
15.5.1.	ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	83
15.5.2.	IMPACTO SOCIAL Y AMBIENTAL	83
15.5.3.	MARCO LEGAL	84
15.6.	PLAN DE NEGOCIOS	84

15.6.1.	ANÁLISIS FODA	84
15.6.2.	MATRIZ FODA	84
15.6.3.	FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO	85
15.7.	EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO	85
15.7.1.	COSTO DE CONSTRUCCIÓN POR M ²	85
15.7.2.	COSTO DEL TERRENO	85
15.7.3.	EQUIPOS PRINCIPALES.	86
15.7.4.	INVERSIÓN FIJA E INVERSIÓN FIJA TOTAL.	86
15.7.5.	INSUMOS	86
15.7.6.	COSTOS DE PRODUCCIÓN	87
15.7.7.	CAPITAL DE TRABAJO E INVERSIÓN TOTAL.	88
15.7.8.	PRECIO DE VENTA	88
15.7.9.	INGRESOS POR VENTAS.	89
15.7.10.	CUADRO DE FUENTES Y USO DE FONDOS.	89
15.7.11.	RENTABILIDAD	89
15.7.11.1.	TIEMPO DE REPAGO.	89
15.7.11.2.	TIR. TASA INTERNA DE RETORNO	90
15.7.12.	PUNTO DE EQUILIBRIO	90
15.7.13.	SENSIBILIDAD.	91
16.	CONCLUSIÓN GENERAL Y PENDIENTES	91
16.1.	CONCLUSIÓN DEL ESTUDIO DE CONSTRUCCIÓN	91
16.2.	CONCLUSIONES DEL PROYECTO DE INVERSIÓN	92
16.3.	PENDIENTES	92
	ANEXO	93
	BIBLIOGRAFÍA	100

Abstract

The objective of this work is to analyze the design and construction of a Rocket stove with a modular heat exchanger to allow heat several rooms at the home in a cheap and ecological way and provides a solution who have not access to a net gas service or to families of middle and low resources who cannot afford the service costs.

Resumen

En el presente trabajo se estudia el diseño y construcción del conjunto de estufa Rocket e intercambiador de calor modular. Estas estufas de alta eficiencia son aptas para viviendas y espacios amplios. El intercambiador de calor que se desarrolla es adaptable a cualquier tipo de estufa cuya cámara de combustión sea de geometría cilíndrica.

El fin de adicionar un intercambiador de calor es lograr la canalización del calor generado por la combustión de la estufa a otros espacios independientes de la vivienda de una forma natural, eficiente y a bajo costo.

Este estudio permite profundizar y dar respaldo a los talleres que se dictan en el marco del programa de Extensión “Energía, una alternativa social” de la Facultad de Ingeniería de Mar del Plata (UNMDP). Dicho programa se involucra en la sociedad dictando talleres de energías alternativas en distintos barrios para concientizar sobre varios aspectos energéticos, capacitar a la comunidad, brindar herramientas técnicas, aprovechar oportunidades no explotadas de eficiencia energética y dar soluciones ingenieriles a problemáticas recurrentes que empobrecen la calidad de vida. Mediante el taller que respecta a este estudio se logra promover una solución para el calefaccionamiento de hogares que no tienen acceso a una red de gas continua y/o familias de medianos y bajos recursos que no pueden afrontar los costos del servicio además de transmitir el conocimiento técnico y práctico a la comunidad.

Actualmente en el partido de Gral. Pueyrredón coexisten dos grandes problemáticas, la insuficiente capacidad de suministro de la red de gas y las elevadas tarifas del mismo. Estas cuestiones hacen que muchas familias deban optar por métodos alternativos para cocinar o calefaccionar sus hogares.

En función a las problemáticas sociales detectadas y mencionadas anteriormente se plantea el diseño y construcción de un dispositivo intercambiador que permita redistribuir de forma más homogénea el calor generado en la estufa, logrando climatizar una o más habitaciones sin necesidad de instalar un equipo para cada espacio. El dispositivo intercambia calor con la estufa, calentando el aire que circula por su interior y generando un flujo direccionado hacia el espacio de interés. Este equipo funciona por principios termodinámicos, sin necesidad de adicionar una fuente de energía externa. La construcción del sistema se desarrolla con materiales sustentables y duraderos, cuyo mantenimiento e instalación son simples y económicos.

1. Introducción

El taller de construcción de estufas Rocket dictado en la sociedad de fomento del barrio *Playa Los Lobos* permitió llevar a cabo allí mismo la construcción de una estufa Rocket con intercambiador de calor. El motivo desencadenante de la construcción de esta estufa fue el de satisfacer la necesidad de confort térmico en la sala principal de la

sociedad de fomento y en una sala secundaria donde se llevan a cabo talleres y actividades de lectura. También el taller permitió establecer lazos de comunicación con la comunidad y crear un compromiso ecológico colectivo. A través del taller de construcción de estufa Rocket e intercambiador de calor además se logra que tanto vecinos como otros interesados adquieran el conocimiento técnico, los procedimientos y especificaciones para que los reproduzcan, compartan y apliquen en sus hogares y así satisfacer las necesidades de una calidad de vida digna.

Para una familia de ingresos promedio es cada vez más difícil afrontar los gastos domiciliarios, debidos en gran parte al consumo energético. Fue debido a la dificultad de afrontar los costos del servicio de gas para la calefacción que la sociedad de fomento del Barrio *Playa los Lobos* solicitó la contribución del grupo de extensión de la UNMDP para idear un sistema que permita lograr el mismo fin, pero a un menor costo de mantenimiento e instalación. A raíz de la solicitud se propone la construcción de una estufa Rocket en conjunto con un dispositivo de intercambio térmico.

El presente desarrollo por lo tanto también se focaliza en el análisis del conjunto de estufa e intercambiador, en la climatización direccionada, y en lograr que la vía por la que se ejecute el proyecto sea ecológica y económica.

A partir de la premisa de calefaccionar a bajo costo se plantea el diseño del dispositivo de intercambio térmico, el cual permite transportar el flujo de calor a distintos ambientes de una vivienda, dependiendo únicamente de una estufa. El intercambiador de calor permite canalizar el aire caliente de forma asequible, lo que resulta en una solución a la planteo inicial.

Las estufas Rocket son de alta eficiencia y de económica construcción, las permiten obtener una combustión completa, reduciendo sustancialmente la emisión de gases tóxicos para la atmósfera y también logrando que mayor cantidad del calor permanezca en el ambiente.

El rol que juega la calefacción es vital en la vida de todas las personas para poder llevar a cabo sus actividades cotidianas, esto se vuelve más complejo en zonas no urbanizadas, rurales o en locaciones donde existe carencia de servicios básicos tales como el suministro de luz o gas. Es allí donde las personas buscan métodos alternativos para llevar a cabo sus tareas cotidianas, algunas de estas medidas responden a la utilización de generadores eléctricos que requieren gasolina, tubos de gas tipo chanchas y estufas tradicionales que consumen combustible sólido.

En una casa tradicional para poder calefaccionar una habitación secundaria (además de la principal) actualmente algunas de las opciones que se brindan en el mercado son; la disposición de otro artefacto calefactor, contar con un dispositivo tipo caloventor o Split eléctrico, la instalación de radiadores o contar con varias estufas según la cantidad de habitaciones.

En estas y muchas otras situaciones de encarecimiento o carencia de red de servicios se utilizan las estufas casi de forma preferencial. Hay distintos tipos y tamaños de estufas, a veces las características constructivas de las mismas tienden a favorecer la combustión y por ende su rendimiento.

2. Comunidad

Las sociedades de fomento son agrupaciones vecinales que funcionan en colaboración a la Municipalidad para satisfacer las necesidades barriales. En el Partido de General Pueyrredón se rigen en su conformación y funcionamiento de acuerdo a la

Ordenanza 6217 y al Decreto de Asociaciones vecinales de fomento.

De entre las funciones y objetivos de este tipo de instituciones se destaca las siguientes:

- Atender solicitudes de los vecinos pudiendo proponer a las autoridades las medidas que consideren adecuadas para la solución de los problemas.
- Solicitar la instalación y/o ampliación de redes de los servicios sanitarios, aguas corrientes, electricidad, gas y alumbrado publico.
- Promover entre otros la construcción establecimientos escolares y otros medios asistenciales y preventivos de la salud publica.
- Desarrollar una acción en la creación de bibliotecas y en la realización de conferencias y actos de divulgación científica, y todo cuanto contribuya a la difusión de la cultura. (Gonzalez, 2017)

En muchas sociedades de fomento y centros de formación se realizan capacitaciones orientadas al empleo joven y ayuda en la inserción laboral para quienes están menos calificados. Estos cursos tienen una duración de pocos meses y ayuda a insertarse en el mercado laboral luego de terminar los estudios secundarios, o en caso de que los mismos nunca se hayan finalizado. Por ello, en el marco del presente proyecto, es significativo el espacio brindado por la sociedad de fomento del barrio *Playa los Lobos* ya que brinda el espacio idóneo para conectarse con a la comunidad, pudiendo llegar a lugares donde se requiere mas formación y concientización sobre cuestiones energéticas que luego podrán ser aplicadas tanto en el campo socio-laboral y como en la vida personal.

Argentina actualmente tiene una tasa de desempleo del 10,6% según los datos del instituto nacional de estadística y censos (INDEC) esto se traduce en que hay 250.000 desocupados mas que en el mismo período del año anterior. Para los jóvenes en argentina no es fácil conseguir empleo, ya que se enfrentan a una de las tasas de desempleo juvenil más altas de Latinoamérica, un 18% para los varones y un 23% para las mujeres. La inserción laboral se complica aun más para quienes no terminaron la escuela secundaria, la mitad de los jóvenes argentinos no logra hacerlo a tiempo, aunque la gran mayoría la finaliza en la escuela de adultos. Gran parte de los jóvenes están preparados para iniciarse en el sector laboral, pero muchos no tienen oportunidades por la escasa creación de empleo y en algunos sectores en donde sí hay mayor demanda laboral hay problemas de inadecuación o de falta de formación. En general para el desarrollo económico se necesita una juventud más y mejor capacitada, pero con eso solo no basta también es necesario el aumento de demanda laboral para evitar que jóvenes capacitados emigren. (DeustcheWelle, 2019)

2.1. Capacitación

La formación técnica tiene como propósito facilitar que personas jóvenes y adultas cuenten con oportunidades laborales a lo largo de sus vidas. El fortalecimiento de la educación y la formación técnica profesional es indispensable para lograr transiciones exitosas hacia el mercado laboral y la construcción de trayectorias de trabajo decente.

Para transitar hacia un desarrollo inclusivo que combata las desigualdades sociales y las de género y se consoliden los derechos económicos, sociales y culturales

de la población es fundamental que la educación técnico profesional apoye el desarrollo de competencias clave para el ejercicio de una ciudadanía responsable y el aprendizaje continuo en un mercado laboral dinámico y progresivamente tecnologizado. (CEPAL, 2018)

La línea social y comunitaria del taller de “Construcción de estufas Rocket” se basa tanto en aplicar y transmitir los conocimientos ingenieriles y técnicos para encontrar una alternativa ecológica y sustentables a distintas controversias de la vida cotidiana y a distintos sectores de la sociedad como también en enriquecer los conocimientos energéticos, incorporar el concepto de eficiencia y difundir y promover la aplicabilidad de las demás fuentes de energías renovables disponibles en la naturaleza para seguir enriqueciendo la conciencia ecológica.

Este eje socio-comunitario se compone esencialmente por un taller apto para todo público y de acceso libre y gratuito. A través del taller los interesados lograron adquirir las herramientas teóricas y prácticas para la construcción e instalación de una estufa Rocket y un intercambiador de calor, con el objetivos de calentar el hogar y redistribuir el calor generado a otras habitaciones de forma eficiente, segura y económicamente viable.

Como se muestra en la Tabla 2 el curso está estructurado en cinco encuentros, inicializado por una jornada exclusivamente teórica y de discusión donde también se difunde información de otras fuentes de energía sustentable, sus aplicaciones, adquisición y ahorro logrado en base a su utilización. Las siguientes cuatro jornadas son en gran parte de aplicabilidad práctica, aunque cada una de ellas comienza con una previa introducción teórica resumiendo los conceptos vistos y con información e instrucciones de la actividad a llevar a cabo en la jornada.

En este punto se tiene en cuenta que debido que el concurrencia no es obligatoria los participantes variaban en cada encuentro, muchos asistieron a las 5 jornadas, y otros asistieron puntualmente a las de interés. En respuesta al taller algunos vecinos iniciaron en su propio hogar la construcción de una estufa Rocket y participando del taller para recibir la información del paso a paso para finalizar o mejorar sus construcciones, también se vio gran interés en el dispositivo de intercambio de calor y fundamentalmente la posibilidad de variar la geometría del mismo.

En esencia cada jornada dura entre cinco y siete horas, la charla inicial tiene una duración aproximada de una hora y media, dando lugar a un intervalo de preguntas y exposición de casos puntuales.

La sección práctica del taller esta destinada en primera instancia a que los participantes conozcan y se familiaricen con los materiales de construcción, ladrillos, barro y aislantes y con las técnicas de construcción. Se les indica la mejor forma de seleccionar materiales de bajo costo y tomar decisiones durante el proceso de construcción.

Al iniciar el taller a los participantes se les brinda el plano paso a paso de construcción de la estufa, Ilustración 36 (Anexo), el listado de materiales, mostrado en la Tabla 1 y a continuación la receta para fabricar el barro que será utilizado para la unión de los ladrillos de la estufa y revestimiento.

Ítem	Uso	Cantidad	Unidad
Ladrillos cocidos	Cámara de combustión	176	Unidad
Ladrillos refractarios	Cámara de combustión	11	Unidad
Tambor 200 litros	Exterior y contención de perlita	1	Unidad
Perlita agrícola	Aislante	125	Litro
Ladrillos cocidos	Banco de masa	100	Por metro lineal de extensión de banco
Arena	Para mezclar con la tierra	1	Balde de 20 litros lleno
Tierra arcillosa	Barro para estufa	1	Tambor de 200 litros lleno
Bosta	Barro para estufa	1	Balde de 20 litros lleno
Zinguería	Depende del lugar		

Tabla 1. Lista de Materiales de Construcción Estufa Rocket

Es recomendable utilizar el barro una semana después de su preparación para que la arcilla de la tierra se hidrate y tenga un mejor comportamiento plástico. Lo esencial de la mezcla de barro es utilizar materiales que permitan lograr una fácil manipulación, que le aporten la resistencia mecánica necesaria y una buena performance térmica. Esencialmente la mezcla esta compuesta por arcilla, arena, fibra y agua.

La arcilla es el material aglomerante, confiere la cohesión y principalmente la capacidad de resistencia al esfuerzo de compresión. La arena contribuye a reducir la retracción de la arcilla y aporta la estructura necesaria. Cuando la arcilla húmeda se seca tiende a contraerse, este efecto se mitiga con el agregado de arena, que aporta la estructura para contener esta retracción. La fibra ayuda a generar una trama interna que reduce o evita la disgregación por la retracción y aporta resistencia al esfuerzo de tracción, las fibras pueden ser entre otros pastos secos o paja. Estas mezclas se pueden mejorar agregando aserrín, que eleva la capacidad térmica de la mezcla. La bosta de caballo ayuda a mejorar la adherencia del barro con los ladrillos y demás materiales.

La utilización de la tierra presente en la locación es totalmente aceptable siempre que cumpla los requisitos mínimos de contenido de arcilla y arena para definir si la tierra es apta o no para lo construcción. Para el taller se comprobó la capacidad de la tierra disponible, verificando cualitativamente el nivel disponible de arcilla. En la Ilustración 1 se ve la muestra tomada de tierra. La misma se recogió del suelo y se diluyó y mezcló con agua, luego se lo dejo reposar durante 30 minutos. Luego de ese tiempo comenzó a visualizarse la estratificación según la densidad de los distintos componentes. Aproximadamente se distingue un 25% de arcilla como el estrato de color mas claro en la superficie y de arena en el fondo, esencial para la estructura.



Ilustración 1. Muestra de tierra B° Playa los Lobos

La tierra y el barro fue utilizada como materia prima por de la humanidad desde hace miles de años y actualmente el uso de ellas esta ya se encuentra legislado como materiales permitidos para la construcción en muchos países, por ejemplo en Alemania se encuentra legislado desde hace más de 50 años.

La receta para la fabricación de barro es la siguiente:

1. Zarandear la tierra para separar cascotes, piedras o materiales que no sean de origen orgánico. Colocar la tierra tamizada en un tambor de 200 lts. En el taller se utilizo un elástico de cama de 1 plaza como zaranda.
2. Homogeneizar la bosta con agua y agregarla al tambor junto a la tierra ya tamizada.
3. Agregar la arena, lo que permitirá aumentar la resistencia estructural de la mezcla.
4. Completar el tambor con agua hasta llenarlo 1 cm por encima de la tierra. Repetir esta acción cuanto sea necesario, a medida que la tierra vaya absorbiendo el agua el nivel bajara.
5. Homogeneizar la mezcla. En el taller se utilizo un revoledor de pintura como batidora para licuar y mezclar los ingredientes.
6. Dejar reposar la mezcla idealmente una semana o como mínimo 3 días. La decantación y separación permitirá que la mezcla mas limpia y homogénea quede en la superficie, ese será el barro ideal para utilizar en la construcción. La hidratación completa de la arcilla toma hasta una semana dependiendo el tipo de tierra o arcillas a utilizar .
7. Recoger con baldes de albañil el barro desde la superficie del tambor.





Día	Presentadores	Teóricos	Prácticos	Imagen de la acción
1º jornada	Mazzei Gabriel, Pérez Cristian, Rodríguez Fernando, Flego Daiana	Energías alternativa, conceptos, fuentes renovable, usos, alcance, rendimientos, consejos útiles. Estufa Rocket; principio de funcionamiento.		
2º jornada	Ing. Pablo Kulbaba	Eficiencia térmica; conceptos, consumo, combustión, ahorro, consejos útiles. Estufa Rocket; historia, funcionamiento, barro, materiales, construcción, utilización, mantenimiento	Disposición en espacio, Preparación de barro, limpieza de tanque, Construcción de cámara de combustión.	
3º jornada	Pérez Cristian, Rodríguez Fernando, Flego Daiana	Estufa Rocket; funcionamiento, barro, materiales, construcción, utilización, mantenimiento	Armado de barro, construcción parcial de banco de masa	
4º jornada	Pérez Cristian, Rodríguez Fernando, Flego Daiana	Estufa Rocket; funcionamiento, barro, materiales, técnicas de construcción, utilización, mantenimiento. Principios de funcionamiento de intercambiador de calor	Terminación de banco de masa, revestimiento e instalación de cañería de gases de escape	
5º jornada	Pérez Cristian, Rodríguez Fernando, Flego Daiana	Principios de funcionamiento de intercambiador de calor, técnicas de construcción y variantes del modelo.	Instalación de intercambiador y cañerías	

Tabla 2. Tabla de actividades, Taller de construcción.



Ilustración 2 Afiches convocatoria taller de Estufa Rocket e intercambiador de calor

3. Energía

3.1. Tipos y producción

La transición energética en la que se encuentra inmersa la sociedad brinda oportunidades interesantes al existir nuevos sistemas de cooperación que promueven un sistema energético más justo, eficiente y colaborativo de los recursos energéticos. Sin embargo, el avance en todos los ámbitos de la energía sostenible no está a la altura de lo que se necesita para lograr su acceso universal.

La energía se extrae de la naturaleza, de allí se encuentran las materias o recursos naturales energéticos como los hidrocarburos que son el gas natural y el petróleo, el carbón mineral, uranio, agua, sol, viento y muchos recursos mas. Se pueden enumerar 7 clases de fuentes de energía

1. Energía térmica: Se la genera quemando los llamados combustibles fósiles; gas, petróleo y carbón mineral. Su uso mas común esta asociado a generar electricidad.
2. Energía hidráulica: Se genera a partir del agua que se acumula diques, el agua luego esta mueve turbinas que generan electricidad.
3. Energía nuclear: Se produce a partir de la energía que libera la fisión o la división de los núcleos de los átomos de uranio, aprovechada para generar electricidad

A estas tres fuentes de energía; térmica, hidráulica y nuclear se las llama energías de base, porque hoy en día son las principales en el mundo. También hay otras cuatro fuentes de energía que se las llama alternativas.

4. La energía solar, proveniente del sol.
5. La energía eólica, generada a partir del viento que hace girar las paletas de molinos que están acopladas a generadores eléctricos.
6. La energía geotérmica, proveniente de calor natural de la tierra.
7. La energía de los biocombustibles. Se utilizan recursos naturales biológicos renovables, como por ejemplo la caña de azúcar para la producción del bioetanol o la soja para la elaboración del biodiesel.

La energía termoeléctrica producida por el carbón, el gas natural y el petróleo posee recursos que no son renovables.

El uranio utilizado para generar energía nuclear tampoco es renovable, aunque hoy en día el límite de agotamiento del uranio es muy lejano a diferencia del petróleo y del carbón y como además no contamina sus ventajas son comparables con las de un recurso renovable.

Las energías renovables son la eólica, la geotérmica, la hidráulica, la solar y los biocombustibles.

Ante la notable diversidad de formas de energía disponible es importante ver el detalle su producción en el mundo. El 87% de la producción mundial de energía total es térmica y se produce quemando gas, petróleo y carbón. Las plantas hidráulicas producen el 6% de la producción total mundial y las plantas nucleares otro 6%, es decir, que sólo el 1% de la energía total restante proviene de las llamadas energías alternativas, como se muestra en el Gráfico 1 .



Gráfico 1. Porcentajes de la producción mundial de energía

3.2. Energía eléctrica

En Argentina el detalle de la producción solo de energía eléctrica se corresponde a un 55% por producción termoeléctrica, 47% mediante el uso de gas, 8% fuel oil y gas oil, 38% hidroeléctrica y 7% nucleoeléctrica, como se muestra en el Gráfico 2.

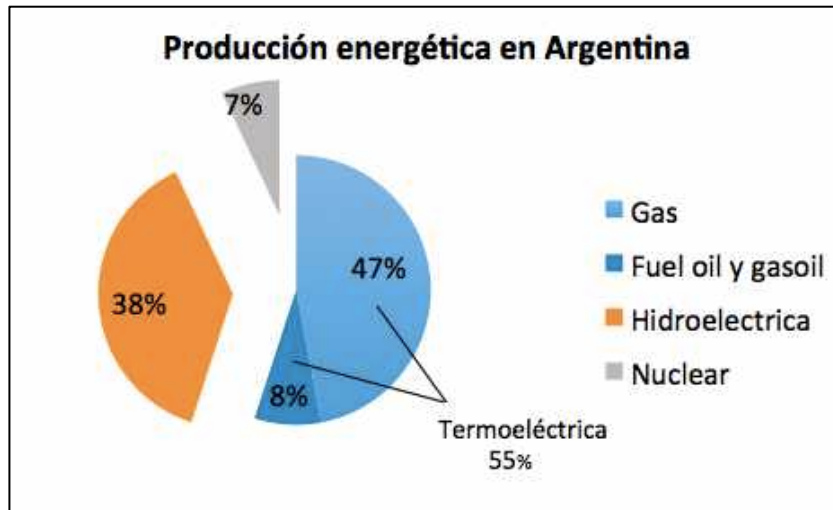


Gráfico 2. Porcentajes de la producción nacional de energía

En los dispositivos del hogar es muy importante tener en cuenta el uso racional de la energía eléctrica, por ejemplo:

- Respecto a la heladera, es importante evitar enfriamientos excesivos dado que aumenta el consumo de energía, evitar mantener la puerta abierta de no ser necesario, no colocar alimentos calientes, regular los valores de temperatura del equipo según la época del año, colocar la heladera en un lugar fresco a temperatura ambiente no menos de 15 cm de las paredes, y es importante considerar que muchos modelos de heladera disipan el calor por sus paredes laterales, por lo que hay que evitar cubrirlas con imanes, carteles y almanagues.
- Los equipos de aire acondicionado son claves en la demanda eléctrica de verano, por ello se aconseja elegir colores claros para paredes exteriores de la casa y del techo ya que estos reflejan la luz solar y evitan el calentamiento de los espacios interiores, reduciendo el uso de dispositivos de regulación térmica. También es beneficioso aislar con lana de vidrio o espumas de plástico los techos y paredes expuestos al sol, esto disminuye en un 30% el consumo energético del aire acondicionado. Limpiar regularmente los filtros del aire acondicionado permite ahorrar un 10% de energía eléctrica. También es importante regular el termostato en no menos de 24°C, en caso contrario se estaría incrementando el consumo energético en un 5% por cada grado menos.
- Elegir los aparatos y electrodomésticos con etiqueta energética A porque son más eficientes en el consumo de energía, como se muestra en la Ilustración 3, y es importante que no emitan gases como freón a la atmosfera, porque daña el medio ambiente.



Ilustración 3. Categorías de eficiencia energética de electrodomésticos y equipos

El sistema interconectado nacional, SIN, es el conjunto de líneas de alta y media tensión que transporta la energía eléctrica desde las centrales generadoras hacia todo el país, como se muestran las vías en la Ilustración 4. La distribución se hace sin importar el origen es de en una planta termoeléctrica hidroeléctrica o nucleoelectrica, dado que estos son los primeros eslabones de la cadena.

La empresa TRANSENER es el segundo eslabón de la cadena y se encarga del transporte a nivel nacional en las distintas regiones y provincias. Finalmente la electricidad será distribuida por las empresas que actúan como minoristas, por ejemplo, EDEA en Mar del Plata, que llevan el servicio a los distintos consumidores.



Ilustración 4. Sistema Interconectado Nacional (SIN)

El balance energético nacional, elaborado por la secretaría de energía, detalla que el consumo de energía eléctrica se distribuye de la siguiente manera; el uso residencial se lleva el 30% del total, el 50% le corresponde a la industria, 1% al

transporte y el 19% al comercio y a la administración pública como se muestra en el Gráfico 3.



Gráfico 3. Balance energético Nacional

Las centrales de generación de energía se encuentran diseminadas por todo el país y son las que proveen de electricidad a la población, a la industria, al alumbrado público y a una parte del transporte. Algunas de las más conocidas son la central nuclear Atucha 1, ubicada en la provincia de buenos aires y la central hidroeléctrica Yacretá, ubicada en la provincia de corrientes. (Ministerio de planificación federal inversión pública y servicios, 2016)

3.3. Gas Natural - Hidrocarburos

El gas es uno de los hidrocarburos resultante de la materia orgánica prehistórica que se depositó y sedimentó en capas impermeables, conservándose por largos periodos de tiempo a gran profundidad, temperatura y presión, mediante la intervención de microorganismos, finalmente se transformó en lo que conocemos hoy como crudo y gas. Estas acumulaciones se denominan yacimientos y pueden encontrarse tanto en el subsuelo continental como costa afuera. El gas natural se encuentra ASOCIADO cuando está mezclado con el crudo o LIBRE cuando el yacimiento sólo contiene gas. Para extraer los hidrocarburos se requieren 5 procesos.

1. Exploración, es el estudio de suelos que se realiza para identificar y localizar posibles yacimientos. Se toman muestras de roca y suelo en los que se describen las características de la superficie, imágenes satelitales y fotografías aéreas.
2. Sísmica, en el caso de que el posible yacimiento se encuentre en el subsuelo continental se disponen pequeñas cantidades un tipo de explosivo sísmico llamado Sismigel en orificio a 15 metros de profundidad y se producen pequeñas detonaciones que generan ondas, las cuales se propagan hasta el subsuelo y a través de una estación receptora se recopila información de las características de las diferentes formaciones geológicas. Esto genera una imagen de las diferentes capas del subsuelo, los geólogos determinan las zonas aptas para encontrar hidrocarburos y se da paso a la perforación exploratoria.
3. Perforación, el primer pozo que se perfora en un área geológicamente inexplorada y que permite saber si realmente hay o no hidrocarburos, este primer pozo se denomina exploratorio. Se instala la torre de perforación que abre el

pozo atravesando las formaciones del subsuelo, cuyas paredes se cementan para prevenir posibles contaminaciones de acuíferos, hasta llegar al yacimiento que contiene el petróleo y/o el gas. La torre o taladro está compuesta por un serie de tuberías de acero que se van uniendo a medida que avanza la perforación, una bronca que va perforando el suelo, un sistema de lodos que bombea y recircula permanentemente.

4. Producción, al finalizar la perforación si el volumen encontrado justifica su extracción de inicia la producción de crudo y gas natural. Mediante un instrumento llamado cañón se perfora el último tramo de tubería abriendo pequeños orificios por donde empezará a filtrarse el hidrocarburo saliendo a la superficie de manera controlada. En el caso del gas natural la presión del yacimiento es suficiente para impulsarlo a la superficie. En superficie se utilizan diferentes equipos para limpiar las impurezas del crudo, separando sedimentos, agua, gas natural y se adicionan diferentes químicos para alcanzar las propiedades exigidas. Para el caso del gas se limpian sus impurezas y por razones de seguridad se agrega un producto químico que le da el olor característico, luego se almacena mediante compresión en tanques especiales o se convierte en gas licuado para transportarlo directamente.
5. Refinación, el crudo se somete a temperaturas cercanas a los 400°C mediante un conjunto de hornos, torres de destilación, tanques, tuberías y separadores. Luego se lo conduce a la parte inferior de una torre cilíndrica que tiene dispuestas bandejas a diferentes niveles que separan los componentes del crudo según el punto de ebullición. A medida que el vapor sube por la torre este pierde calor y se enfría, se condensa y se separan los componentes, como gas propano y butano, aceites combustibles, querosene, nafta y gasóleos. Los gases como propano y butano se obtiene de la parte superior de la torre. (Asociación Colombiana del Petróleo, 2014)

Actualmente la extracción de gas se revoluciona por una técnica llamada Fracking. Esta técnica permite extraer petróleo y gas de lugares que antes eran inaccesible.

Todo el gas y el petróleo se encuentra almacenado en formaciones rocosas, algunas de estas formaciones tienen poros o grietas que dejan fluir el petróleo de forma natural, pero hay otras formaciones que no cuentan con estos poros, lo que representaba una limitación para la industria petrolera, pero con la aparición del fracking actualmente se puede sacar petróleo de esas fuentes también.

El petróleo es un fluido subterráneo que soporta millones de toneladas de tierra. Cuando se taladra hasta esa profundidad debido a la presión acumulada, el petróleo busca liberar presión y salir por la tubería hasta la superficie. Para ello es necesario que exista el camino de tubería y que las formaciones de rocas que almacenan petróleo tengan poros que estén conectados entre si. Cuando no hay conexión entre los poros es inútil intentar la extracción por métodos convencionales porque la mayoría del petróleo se queda atrapado en la roca. El Fracking permite fracturar estas rocas para crear forzosamente las uniones entre las grietas. Esta técnica de fractura es el resultado de aplicación de la energía hidráulica, utiliza agua con arena a presión para romper las rocas.

Para llegar a dónde está el petróleo hay que perforar aproximadamente 2 kilómetros en vertical y otros 3 kilómetros en horizontal, al ser una tubería tan larga hay

alta fricción, por lo tanto el agua que se inyecta pierde potencia a medida que avanza. Para disminuir estas pérdidas se mezcla el agua y la arena con químicos que lubrican la tubería y combatan la fricción, pero el resultado de esa mezcla es altamente contaminante para el medio ambiente y en parte por ello el fracking es tan polémico. Los pozos convencionales son menos dañinos con el medio ambiente que el fracking.

Para aplicar esta nueva técnica es necesario contaminar grandes cantidades de agua. Además gran parte del agua aditivada que se introduce al pozo es devuelta a superficie aun más contaminada, porque la rocas contienen metales pesados y compuestos radioactivos que generan un nivel de contaminación tan alta que ya no es posible tratar el agua para volverla potable.

El depósito final de esa agua altamente contaminada usualmente es muy profundo bajo tierra, otro de los grandes riesgos involucrados es que en el subsuelo existen reservas de agua potable y si el agua contaminada del fracking llegara a mezclarse con esas reservas resultaría en un desastre ecológico de incalculables dimensiones. La industria petrolera toman precauciones para que esto no ocurra, por ejemplo, los pozos tienen un revestimiento de cemento y tuberías adicionales con el objetivo de evitar que el agua contaminada se filtre, pero no está comprobado a largo plazo que estas medidas sean suficientes.

La mayoría de las normas aplicadas en el fracking aún se basan en estudios que fueron realizados en Estados Unidos, es importante destacar que este país presenta una geología muy diferente a la de Argentina. En Estados Unidos las reservas de aguas subterráneas no pasan de los 400 metros de profundidad. En Argentina ya se extrae del acuífero guaraní agua potable a 1800 metros de profundidad. El acuífero guaraní es una de las mayores reservas de agua potable del mundo y dentro de Argentina se dispone el 19% de la misma. Por tanto, como gran parte de la normativa de disposición del agua de descarte del fracking utiliza datos basados en estudios extranjeros, se aumenta enormemente el riesgo de contaminación de las napas de agua potable.

El fracking que es la última técnica en extracción de hidrocarburos acarrea los siguientes riesgos:

- Las grietas causadas por esta técnica recorren el subsuelo de forma impredecible, es decir, que se corre el riesgo de conectar los yacimientos de petróleo, gas y agua contaminada con fuentes de agua potable.
- El casing y estructura de cemento que se utiliza en los pozos de disposición final otorgan una protección estructural y barrera metálica para evitar filtraciones a las napas, esta estructura llega hasta la profundidad que evita el contacto con las napas de agua potable, pero no mitiga totalmente el riesgo de filtración.
- El casing no es una solución permanente dado que no se tiene certeza de su comportamiento y resistencia al desgaste después de estar expuesto a esos ambientes hostiles por muchos años (Magic-marker, 2015)

La forma cotidiana en que la mayor parte de la sociedad conoce el gas natural es directamente con el uso domiciliario, pero también hay un gran consumo en las centrales termoeléctricas para producir electricidad, en el uso industrial para mover máquinas en las fábricas y también en el transporte, en las estaciones de servicio de GNC.

Entre dos de las principales fuentes de energía de base, la termoeléctrica y la hidroeléctrica, hay un efecto compensatorio, es decir, en invierno el uso residencial del

gas natural llega a su pico máximo, por lo tanto cómo para garantizar el suministro de en los hogares, las plantas termoeléctricas y las industrias disminuyen el uso del gas natural y utilizan más fuel oil y gasoil. Por ello en invierno también aumenta la producción de energía hidroeléctrica en proporción a la termoeléctrica y de esta forma se llegar a maximizar el gas para uso domiciliario.

El gas natural permitió mejorar la calidad de vida al disminuir el consumo de combustibles líquidos derivados del petróleo, esto es una ventaja para el ambiente porque se queman menos de estos combustibles en las casas y en las industrias.

Hay distintos sistemas de calefacción que nos permiten mantener nuestra casa a temperatura confortable con menor consumo energético. Los radiadores eléctricos son más eficientes que las estufas eléctricas porque tienen termostatos y resultan convenientes si son utilizados con moderación. Los sistemas de Calefacción eléctrica por medio de radiadores y convectores resultan ideales para espacios pequeños, pero en espacios grandes es mas conveniente calefaccionar con gas. Hay muchos modelos de estufa que se pueden elegir, por ejemplo, estufas a gas natural licuado, con Tiro balanceado o sin el, las catalíticas, las eléctricas, las de leña o las de querosene. Cada uno de estos sistemas tiene sus ventajas y sus desventajas.

La calefacción es un factor determinante del consumo energético ya que en el invierno su consumo es máximo. Una casa necesitaría más energía para calentarse si su aislamiento térmico fuera deficiente. Gran parte de las necesidades de calefacción se generan a causa de las filtraciones de aire frío a través de las puertas y las ventanas. Un buen ejemplo de aislamiento puede lograrse con el uso de burletes, un recurso común y económico. El vidrio de cristal doble es también muy útil pero implica un gasto mucho mayor. Si se dispone de un sistema de calefacción por termostato es recomendable regularlo en invierno a una temperatura no excesivamente alta, entre 18°C y 20°C.

Los consejos que ayudan a maximizar el aprovechamiento de los sistemas de calefacción son:

- No tapar salidas de aire caliente de radiadores con ningún objeto.
- Si no puede calefaccionar con gas y la opción inmediata es hacerlo con electricidad use caloventores o radiadores de aceite con termostato en lugar de las estufas de cuarzo.

3.4. Eficiencia energética en el uso residencial

Los aparatos que mas electricidad utilizan son la heladera, las aparatos de iluminación y los dispositivos de climatización, los cuales alcanzan aproximadamente el 70% del consumo de energía eléctrica del hogar. El televisor consume otra parte importante del consumo eléctrico por el simple hecho de que es uno de los electrodomésticos que permanece más tiempo encendido.

Los demás electrodomésticos influyen en mayor o menor medida de acuerdo al uso y abuso que se haga de ellos, microondas, plancha, lavarropas, secador y planchita para el pelo están entre los que más energía eléctrica consumen. (Ministerio de planificación federal inversión pública y servicios, 2016)

A modo de generar un entendimiento mas grafico de lo que es la energía y como se mide, se comparan algunas de las fuentes expuestas anteriormente con la energía generada por el esfuerzo propio del ser humano. En el Gráfico 4 se observa en el eje X el tiempo en unidades de minutos y en el eje Y la potencia en unidades de Watts. Las dos curvas corresponden a atletas "*first class athletes*" y a hombres sanos comunes "*healthy men*" respectivamente . En el grafico se observa que cuanto mayor es el

tiempo que debe prolongarse el esfuerzo de forma sostenida la potencia generada es menor, entonces, un atleta puede generar 1 HP en 0,2 minutos, pero si un ciclista pedalea de manera sostenida, como sucede en las competencias de resistencia, y mantiene el esfuerzo constante por 500 minutos obtendría 75 Watts, o sea que se podría alimentar una lámpara. (Wilson, 1995)

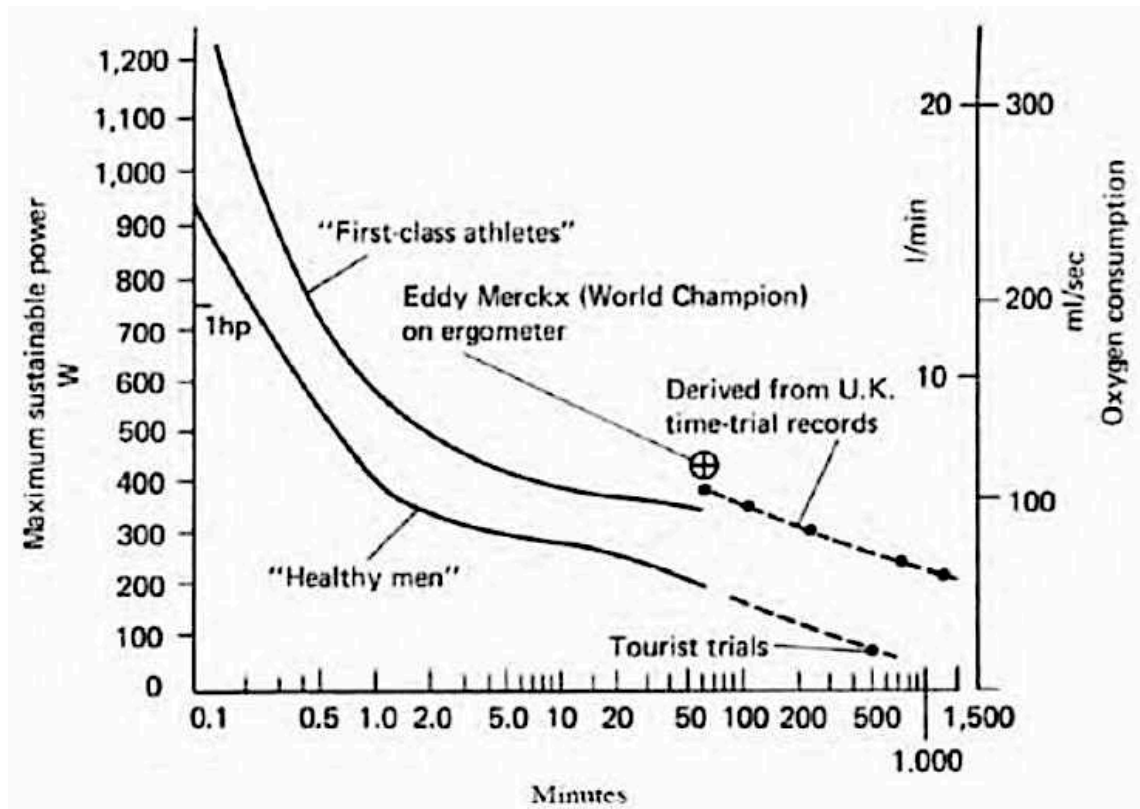


Gráfico 4 Capacidad de generación de energía del ser humano

La energía que es capaz de generar el hombre a través del esfuerzo físico es contrastable con la energía que se obtiene de la combustión de distintos materiales, es decir, por ejemplo como se muestra en la Tabla 3, de un litro de nafta se pueden obtener 8900 Watts por hora, pero si se desea obtener la misma potencia a través del pedaleo continuo de un ciclista, este debería andar en bicicleta aproximadamente 140 horas o 6 días seguidos sin parar. Si se lo traduce a jornadas de 8 horas el mismo ciclista deberá pedalear poco menos de 15 días. Estos valores ayudan a visualizar la dimensión de energía que consumimos diariamente y el costo relativo de su obtención. Si ahora se hace este análisis con la ponderación de la energía que se genera a partir de la combustión de un kilogramo de madera se aprecia que el ciclista ahora deberá pedalear 2,5 días para igualar la potencia obtenida por la madera. Comparando estos números con el costo por kilogramo es indiscutible la conveniencia de comprar un kilogramo de madera antes que pedalear 2,5 días, en la actualidad el kilogramo de Quebracho por ejemplo cuesta aproximadamente ARS\$10.

Combustible	Energía Neta (KW/lt)	Equivalente en horas hombre a un litro para energía neta 75 Watts/hora	Equivalente en días (24 hs)	Equivalente en jornadas de 8 horas
Nafta	8,9	139,13	5,79	17,4
Diesel	10	132,85	5,54	16,6
Madera	4,65	62,03	2,58	7,75

Tabla 3. Equivalencias de generación de energía mediante combustibles vs. tracción a sangre del hombre.

4. Consumo y combustión

4.1. Consumo

En Argentina muchas personas continúan cocinando sus alimentos con fuentes de energía derivadas de la madera como se aprecia en la Tabla 4.

Como sucede en muchas ciudades del país “(...) las ciudades tienen como residuo un combustible de naturaleza renovable: las ramas y leña procedentes de las operaciones de poda. Las Municipalidades y Comunas se ven obligados a gastar recursos para el traslado a grandes distancias los restos de poda de calles, parques y jardines para su disposición final.” (Galiano & Marchisio, 2015, p. 2), si se utiliza este residuo como alternativa de combustible para alimentar las estufas de alto rendimiento se lograría resolver esta dificultad económica y productiva para la sociedad.

Según la Agencia Internacional de Energía (IEA), cerca de 2500 millones de personas dependen de la leña como su principal fuente de combustible para la calefacción y cocción de alimentos, cuya población se pronostica aumentará a 2700 millones en el año 2030. (Agencia Internacional de Energía (IEA), 2006).

Según el censo nacional realizado en el año 2010 en la provincia de Buenos Aires un 65% de los hogares tienen acceso a la red de gas como se ve en el Gráfico 5. Es decir que, el resto son muchas las viviendas en las que se evalúa constantemente la alternativa al suministro de gas ya sea con garrafas o mediante la quema de combustibles sólidos por ejemplo.

Combustible	Numero de hogares	% de Hogares por tipo de energía
Gas	11,722,032	96,96
Leña y Carbón	319,652	2,64
Electricidad	32,621	0,27
Otros	15,801	0,13
Total de Hogares	12,090,106	

Tabla 4. Fuentes de "Combustibles utilizados principalmente para cocinar alimentos" en orden de importancia en la República Argentina. (INTA, 2010)

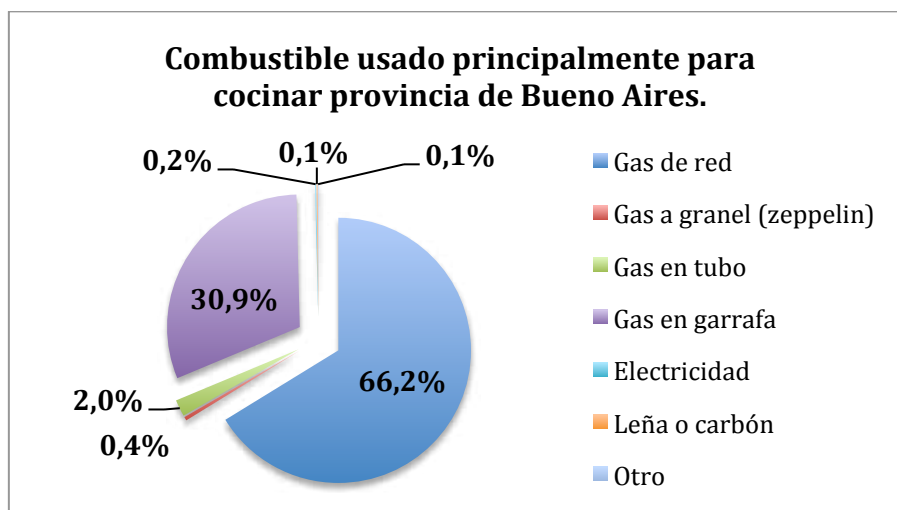


Gráfico 5 Viviendas particulares según combustible utilizado principalmente para cocinar. Provincia de Buenos Aires. Año 2010

Por otro lado, ante la inminente problemática del cambio climático, se continúan implementando estrategias y alternativas que mitiguen riesgos ambientales. En la vigesimoprimer conferencia de las partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático se propuso reforzar el compromiso mundial en cuanto a las responsabilidades y acciones a llevar a cabo en relación al asunto. Entre las diferentes estrategias se destaca fomentar la implementación de estufas eficientes que permitan ahorrar leña, cuyo objetivo principal es la disminución de emisiones contaminantes, al utilizar menos leña con una combustión completa, promoviendo también el cuidado de los recursos naturales y contribuyendo al mejoramiento de la economía, la calidad de vida de las familias usuarias y el medio ambiente. (Naciones Unidas, 2016)

Uno de los principales puntos de comparación que se destaca al hablar de combustible para uso en estufas es el del impacto ambiental que tienen sobre el ambiente. La madera resulta ser más ventajosa en términos medioambientales que otras fuentes de energía, es un recurso renovable y los riesgos medioambientales que tiene relacionados durante su producción son bajos, siempre y cuando se lleve a cabo de la forma adecuada. El transporte y almacenamiento de la madera consume menos de la tercera parte de la energía que es requerida para la misma actividad en los combustibles derivados del petróleo. Las emisiones generadas por la combustión eficiente de la madera son comparables a las del gas natural.

La actividad de producción de madera para estos fines tiene aparejadas otras ventajas secundarias siempre que se realice de la forma correcta, por ejemplo, contribuye al cuidado, conservación y ampliación de los bosques, mejora la viabilidad económica de los usos forestales, favorece el cuidado y mejora de los campos y aumenta la utilización de cercos vivos entre otros. (Vettrano, Carlino, & Rosati, 2016)

4.2. Combustión

La madera es el combustible principal con que se alimentan usualmente las estufas y salamandras. La madera está compuesta principalmente por celulosa, la cual al arder por encima de los 400°C se combina con el oxígeno del aire para formar gases combustibles, dejando un residuo de cenizas procedente de la lignina y sales minerales. Cuando el oxígeno es abundante y la temperatura supera los 600°C tanto los gases formados como las cenizas se queman completamente y terminan de liberar su energía

almacenada. Es decir, que para lograr la combustión completa hay que necesariamente superar los 600°C ya que de lo contrario la celulosa sufre deshidratación y la madera queda convertida en carbón vegetal carente de resistencia, el rendimiento se vera drásticamente afectado además de generar gases tóxicos y cenizas(Battro, 1994).

La velocidad de carbonización de la madera es aproximadamente 0,65 mm/min, por lo tanto, en una salamandra o estufa luego de 30 minutos de exposición al fuego un tronco perdería aproximadamente 19,5 milímetros de espesor. Tras el inicio de la combustión, sobre la superficie de la madera se comienza a formar una capa carbonizada que la protege, esta capa tiene la capacidad de aislar el interior de la pieza hasta seis veces mas que la madera a temperatura ambiente, esto permite que la madera mantenga sus propiedades estructurales (Maderea, 2017). Para comprender la importancia no solo de lograr una combustión completa si no también la de tener una fuente de calor eficiente se puede analizar la energía requerida para cocinar 1 kilogramo de arroz, idealmente se podría lograr solo con 18 gramos de leña, pero en la realidad utilizamos mucho mas, esto se debe a las perdidas entre la fuente de calor y el medio a calentar. (Styer, 2014)

La combustión de la madera genera gases y humos compuestos por monóxido de carbono y si la madera es muy resinosa también alquitranes. La adecuada mezcla con aire permite la quema de este humo y otros residuos que comúnmente en salamandras son eliminados a la atmosfera siendo aun fuentes combustibles, altamente tóxicos y a gran temperatura, con lo cual si se los quema antes de dejarlos escapar se aprovecha colosalmente el calor total que es capaz de entregar el combustible. Además la disminución de monóxido de carbono en los gases de escape reduce los depósitos hollín en las paredes internas de la chimenea, que con el tiempo entorpecen el funcionamiento, aumenta el de riesgo incendio y corrosión. (Nanami, 2014).

Los principales aspectos que se deben tener en cuenta para maximizar la cantidad de energía que se puede obtener de la leña son la humedad y la densidad. Sobre la primera se puede tener control, pero sobre la densidad de la madera que esta relacionada con su poder calorífico no, es decir, cuanto más densa sea una madera, mayor será el poder calorífico a entregar.

La humedad trae consecuencias negativas en la combustión, la madera húmeda libera mayor cantidad de agentes contaminantes al aire, y el aprovechamiento de la energía será menor. Cuando el contenido de humedad de la madera es menor o igual al 25% genera un rendimiento aceptable. La leña verde o recién cortada presenta un contenido de humedad mayor al 60%, lo que disminuye su rendimiento, debido a que gran parte del la energía que libera la madera será gastada en la vaporización del agua, es decir, en la transformación de la fase que se conoce como calor latente.

Para identificar fácilmente la leña con menos de un 25% de humedad se debe reconocer su peso ligero, su color opaco, una corteza desprendida y sin manchas de color blanco o gris. (Fundación Chile Ministerio de Energía, 2014)

Al apreciar en detalle las llamas de la reacción de combustión de la madera, en realidad lo que se observa son las tres formas de transferencia de energía térmica sucediendo al mismo tiempo; conducción, convección y radiación térmica.

La conducción ocurre sobre el material combustible. Cuando las moléculas de carbono están en presencia de oxígeno y calor generan una reacción que produce dióxido de carbono, agua y libera energía. Esta energía excita a las moléculas que se encuentren a su alrededor aportándoles energía cinética. Aquellas moléculas que sean parte de la reacción de combustión van a tener mayor energía cinética que aquellas a las que se les transfirió la energía luego de colisionar con otras.

La convección se da en esencia debido a que el aire caliente al ser menos denso sus partículas tienen más energía cinética respecto de las moléculas más frías, las cuales se acercan a la fuente de calor debido a su menor densidad, se calientan ganando energía y volviendo a alejarse. La reacción de convección se da en el intercambio energético entre las moléculas .

La radiación térmica sucede debido a que la aceleración de las partícula libera radiación electromagnética a través de ondas electromagnéticas que nuestros ojos interpretan como luz visible. Incluso bastante por arriba de las llama de un fuego también hay partículas que están haciendo aceleradas y por lo tanto liberando radiación electromagnética, pero como la aceleración es menor las ondas electromagnéticas generadas tienen una longitud de onda mucho menor de la que puede percibir el ojo humano. (Kahanacademy, 2017)

En las Tabla 5 y Tabla 6 se aprecian distintos materiales combustibles, su poder calorífico y calor producido por ellos.

Combustible	Unidad	Poder calorífico en kwh/unidad	Rendimiento en porcentaje	Calor real en Kwh/unidad	Combustible Para producir 100 Kwh de calor
Gasolina	Litros	10	58-83	5,8-8,3	17-12
Gas natural	m ³	9,5	58-83	5,5-7,9	18-12
Carbón	Kg	7,9	56-74	4,4-5,8	23-17
Lignito aglomerado	Kg	5,6	56-74	3,1-4,1	32-24
Leña secada al aire	Kg	4,3	45-74	1,9-3,2	52-31
Madera desmenuzada (humedad' 40%)	Kg	2,9	53-76	1,5-2,2	67-45
Paja secada al aire	Kg	3,8	41-55	1,6-2,1	63-48

Tabla 5. Poder calorífico y calor producido por algunos tipos de combustible

Tipo de leña	Kcal/Kg	Detalle
Astillas de pino	4.593	Alto poder calorífico. Ideal para: estufas, calderas de biomasa. Su forma es cilíndrica y la medida más utilizada es 6mm
Piña de pino	4160	Fruto del pino con alto poder calorífico. Ideal para encender: chimeneas, calefactores y salamandras.
Leña de Encina	4.548	Ideal para mantener: chimeneas cerradas y abiertas, calefactores y salamandras a leña, parrillas, hornos de barro.
Leña de roble	4.619	Ideal para mantener: chimeneas cerradas y abiertas, calefactores y salamandras a leña, parrillas.
Leña de olivo	4.678	Ideal para mantener: chimeneas cerradas y abiertas, calefactores y salamandras a leña.

Tabla 6. Poder calorífico de algunos tipos de leña

5. Tipos de estufa

5.1. Hogares abiertos

Los rendimientos de estos hogares de fuego abierto difícilmente superan el 10% o 15%, en parte esto se debe al efecto tiraje que se genera como resultado de la altura de la chimenea en relación a la densidad de los distintos gases que actúan.

El efecto del tiraje es la diferencia de presiones entre los gases calientes y el aire frío. De esta forma el hogar abierto tiene la capacidad de extraer aire del ambiente provocando una constante renovación del mismo. Estas renovaciones favorecen a la filtración forzada de aire por rendijas por lo que establece un gran obstáculo para la climatización.

Si consideramos las 24hs del día para analizar el funcionamiento de estos hogares utilizándolo de forma convencional entonces en ocasiones es posible que el aire frío que ingresa por la chimenea cuando esta se apaga por la noche sea mayor al calor que se retuvo en el ambiente durante la etapa activa de la chimenea. (Battro, 1994)

5.2. Salamandras y estufas de hierro

Dispositivos de hierro con una única cámara de combustión, tienen un rendimiento de hasta el 50% significando también un consumo y costo alto de material combustible para lograr la temperatura de confort. (Battro, 1994)

5.3. Estufas de alto rendimiento

Estas estufas tienen un rendimiento superior al 70% y hasta el 95%. Los factores que favorecen esta eficiencia son la combustión completa, que sucede gracias a la doble cámara de combustión y la inercia térmica del banco de masa. (Alberto, et al., 2014)

El banco de masa se construye principalmente a base de arcilla. La tierra es un buen aislante y elemento de construcción natural con excelentes cualidades y capacidades térmicas. La conductividad térmica de los barro a base de tierra tiene una baja conductividad gracias a los elementos que componen la mezcla; bosta, paja y arcillas son los mas comunes. (Viegas, Walsh, & Barros, 2016)

A comienzos de los años 70 algunas estufas se realizaban con mezclas orgánicas a base de arena y arcilla que permitían contener el fuego, sostener las ollas y almacenar calor, luego comenzaron a utilizarse materiales que tienen gran capacidad de acumular calor, como adobe y barro, estos permiten que aun estando apagada la estufa la masa siga entregando calor al ambiente durante varias horas.

Estas construcciones básicas y funcionales generaron un rápido interés en la calefacción con combustión eficiente a nivel mundial.

Las estufas Rocket surgieron a fines de los años 70 como solución apaciguante a la escases de leña y al problema del humo dentro de las viviendas.

En las Rocket la combustión se realiza en dos etapas, a diferencia de las estufas comunes que se lleva a cabo solo en una. En las Rocket la madera se deposita en forma vertical en la boca de carga. Se requiere muy poco aire para lograr la combustión inicial de la madera. Esta primera combustión no es completa, se obtienen como productos resultantes a los gases de combustión y el calor liberado por la reacción. Como los gases generados están calientes estos se elevan hasta la segunda cámara de combustión. En la segunda cámara se completa la combustión, generando nuevamente una liberación de

calor que alcanza mayor temperatura que la primera, superando los 600°C en el interior de la misma. (Nanami, 2014)

6. Funcionamiento de estufas Rocket

6.1. Alimentación e inercia térmica

Este tipo de estufas se alimenta con pequeñas piezas de combustible debido al tamaño de la boca de alimentación. El tamaño de la boca de carga es ideal para ramas y restos de poda, residuos que en zonas urbanas son un gran problema. La carga de combustible sólido se debe hacer aproximadamente cada media hora, por lo tanto durante la noche esta se apaga, pero al tener la inercia térmica del banco de masa la alta temperatura que almacena mantiene la temperatura cálida del ambiente y por la mañana permite fácilmente volver a encender el fuego gracias las paredes internas de la estufa que están aun calientes y favorece a la formación del tiraje.

Las piezas de madera se colocan de forma vertical en la boca de carga y las mismas se queman desde su extremo inferior. Con el correr del tiempo, por efecto de la gravedad la leña descende sola si no tiene ramas secundarias que se lo impidan. Siempre es recomendable controlar la para evitar que las ramas se traben y el fuego a suba por la boca de carga, generando humos en el ambiente.

Cuando la madera se quema libera gases volátiles combustibles, si la estufa se carga con mucha madera, se generara un exceso de gases dando lugar a la aparición de humo dentro del hogar. (Evans & Jackson , 2006, p. 55)

6.2. Partes y principios de funcionamiento

La estufa Rocket se divide en dos sistemas esenciales que permiten lograr la alta eficiencia energética, por un lado la estufa propiamente dicha, la cual, esta comprendida por tres zonas que hacen lugar al espacio de la combustión; la boca de carga, el túnel de combustión y la torreta y por otro lado el segundo sistema que refiere al banco de masa, el cual almacena calor para luego entregarlo de forma constante al ambiente. En la Ilustración 5 se muestran las partes mencionadas.

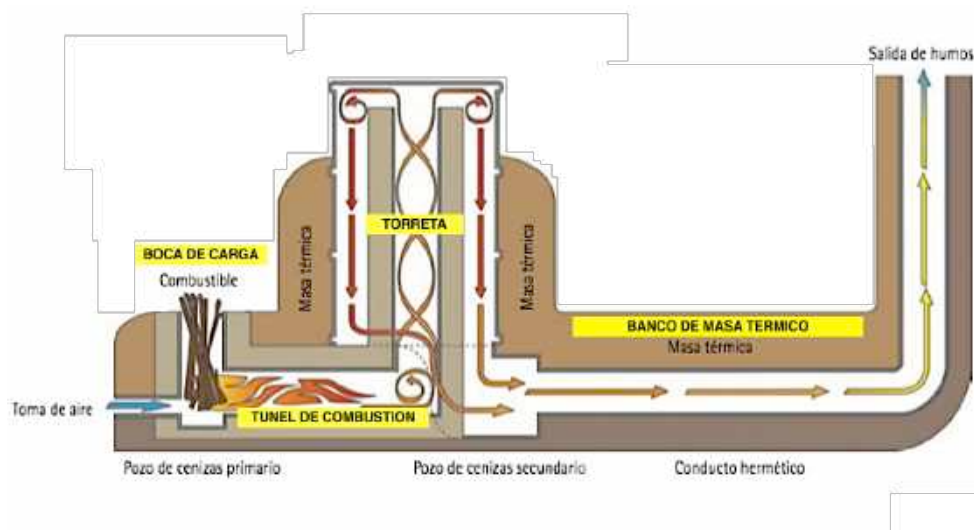


Ilustración 5. Corte de estufa Rocket de inercia térmica

La descripción de cada una de las zonas de la estufa permitirá comprender su

funcionamiento y los principios a partir de los cuales se logra la alta eficiencia. Las tres zonas de la estufa son:

1. Boca de carga: Es el cubículo vertical que se ubica en la parte superior y delantera de la estufa cuya función es alojar la carga de leña de forma que la misma caiga por su propio peso a medida que avanza el proceso de combustión. Lo mencionado anteriormente es otro beneficio de este tipo de cámaras de combustión, solo se enciende la punta o la base de la madera, no se enciende todo a la vez, por lo tanto a medida que se quema la leña lo hace con un mayor porcentaje de aire evitando la generación de humos.
2. Túnel de combustión: Se desarrolla la combustión de la madera y la liberación de los gases volátiles combustibles, el flujo de calor se direcciona por el túnel de combustión hasta la torreta.
3. Torreta: La torreta se puede entender como la chimenea por la que subirán los gases liberados en el túnel de combustión, la diferencia radica en que esta chimenea no libera los gases a la atmósfera como las estufas tradicionales, sino que los libera a una sección secundaria de la estufa. Por lo tanto la torreta alcanza temperaturas que superan ampliamente los 600°C dado que esta construida con material refractario y aislada térmicamente. Los gases que llegan a esta sección se terminan de combustionar y liberar la energía térmica restante. Los gases suben por la torreta impactando contra la superficie interna del tambor y descendiendo por el espacio anular que se forma entre la torreta y el tambor. Cuando los gases chocan contra la superficie interna del tambor, al ser una superficie metálica estos intercambian fácilmente calor, el cual se transfiere hacia el ambiente. La superficie metálica del tambor llega a unos 350°C mientras que las paredes laterales del mismo llegan a unos 200°C. El espacio que queda entre el final de la torreta y la superficie metálica del tambor se puede reducir para ganar un incremento en la diferencia de temperatura lo cual es beneficioso para aumentar el calor a intercambiar con el ambiente. Dado el rango de temperaturas a las que llega la superficie del tambor es común que la misma se utilice para cocinar o calentar agua.

El funcionamiento de la estufa Rocket se debe a la diferencia de densidades que hay entre los gases fríos y los gases calientes, y el fenómeno de estratificación que desencadena y al conocido efecto que chimenea, el cual, está muy relacionado con la transferencia de calor por convección y sucede cuando se tienen gases calientes dentro de una chimenea o un ducto. Los gases calientes van a tender a subir y a arrastrar por la boca de carga nuevos gases, esto sucede dado que cuando se establece un flujo en el interior del ducto, el volumen de gases que avanza deja a su paso una depresión que inmediatamente es llenada por los gases que están detrás. Este efecto chimenea se magnifica al aumentar la altura de la chimenea o en el caso de la estufa la de la torreta y también el efecto chimenea aumenta cuando la diferencia de temperatura entre los gases calientes dentro de la torreta y la temperatura que hay entre el espacio anular por fuera de la torreta y la superficie interna del tambor metálico es mayor, es decir que los saltos térmicos magnifican el efecto chimenea. Es debido a este efecto chimenea que la torreta debe aislarse para garantizar el gradiente de temperaturas adecuado.

Lo peculiar de este modelo de estufas es que luego de que los gases salen de la torreta se los puede direccionar a una chimenea horizontal. Esta diferencia es bastante

contrastante con las salamandras tradicionales, las cuales, luego de la cámara de combustión tienen simplemente una chimenea vertical.

Según experiencias de arquitectos y constructores de este tipo de estufas se ha comprobado que no es conveniente que la chimenea horizontal supere los 10 metros de recorrido ya que no garantiza el correcto funcionamiento de la misma ni el tiraje necesario. A pesar de estos datos en mar del plata existen diseños de estufas Rocket con una trayectoria de chimenea horizontal de 20 metros y 15 metros de chimenea vertical funcionando perfectamente. Es conveniente que las estufas Rocket se diseñen con un cebador, dado que este permite iniciar el flujo de aire desde la boca de carga hasta la chimenea.

Es muy importante tener en cuenta que el último trayecto de la chimenea luego de la cual los gases salen al exterior debe ser vertical para evitar que el viento genere una contrapresión perjudicando el tiraje correcto de la chimenea. También es aconsejable que las chimeneas exteriores se las pinte de color negro para que durante el día la radiación solar la caliente y de esa forma facilite la formación del tiraje natural, para esta tarea no es necesario usar pinturas alta temperatura dado que el aire y los gases que salen de la misma están alrededor de 60°C. Otra gran diferencia entre las estufas Rocket y las salamandras es que los gases salen a la atmósfera a mucho mayor temperatura de la salamandra, aproximadamente a 350°C.

Como punto de partida para el diseño de las estufas Rocket se debe tener en cuenta el diámetro de la chimenea. Los dos diámetros típicos son 6" y 8" de diámetro de chimenea, es decir, aproximadamente 15 centímetros y 20 centímetros respectivamente.

La primera regla de oro que se aplica en el diseño y construcción de estufas Rocket es en función de los metros cuadrados del ambiente a calentar, es decir, si se dispone de menos de 75 metros cuadrados es recomendable utilizar un diámetro de chimenea de 6" y todo espacio mayor a 75 metros cuadrados es recomendable utilizar el diseño de 8", esta regla nos permite pre dimensionar los materiales a utilizar y las medidas que tendrá la estufa.

La segunda regla de oro es que el área transversal que hay entre las paredes de la torreta, entre la primera cámara de combustión y las paredes de la boca de carga debe ser igual al diámetro de la chimenea. Cuanto más alta sea la torreta mejor será el flujo de gases favoreciendo el funcionamiento de la estufa aunque cómo desventajas será el aumento del consumo de leña. El consumo de leña determina la potencia de la estufa, una estufa Rocket de 8" consume aproximadamente 2,4 kg de leña blanda por hora y 1,9 kg por hora de leña dura estilo quebracho. (Di Ruscio & Bertinat, 2018)

7. Disposición en el ambiente.

7.1. Ubicación

Hay distintas consideraciones a tener en cuenta a la hora de definir la ubicación de la estufa y del intercambiador de calor a fin de maximizar el beneficio logrado por el equipo. Algunas de estas consideraciones son:

- Facilidad de carga de leña en la estufa; se recomienda que no haya puertas o ventanas cercanas a la estufa ni sobre la pared donde se construye la misma, ya que puede ser peligroso e incomodo el mantenimiento de la carga de la madera dado que en este tipo de estufas sobresalen las ramas por sobre la boca de carga.

- Facilidad de acceso a la descarga de humos; hace referencia a que el tiraje final de escape de gases necesariamente debe ser vertical y dar al exterior, por lo tanto es mas sencillo sacar el tiraje por la parte superior de una pared para evitar modificaciones en el techo.
- Si el lugar que se piensa destinar es relativamente pequeño, tiene que tener una entrada de aire exterior para que se pueda efectuar la combustión efectivamente. Una rejilla doble en la zona baja de la pared cerca de la boca de carga es lo ideal.
- Espacio para colocar el intercambiador. El mismo tiene aproximadamente 10 centímetros de espesor y se solapa al tambos de la estufa. Para una practica colocación deben existir por lo menos 5 centímetros desde el exterior del intercambiador a la pared.
- Permitir la disposición de tuberías de canalización de aire caliente desde el intercambiador hacia las habitaciones de interés. Es decir, cuanto mas centralizada sea la ubicación de la estufa e intercambiador tanto mas simple será la tarea del tendido de tuberías.

En función de estas cuestiones se debe definir el lugar para la construcción de la estufa, para que su disposición garantice la eficiencia, seguridad y comodidad.

En el caso del presente proyecto el lugar considerado para la construcción de la misma es en el salón común, en el que desembocan todas las habitaciones y salas.

El lugar es amplio y la pared colindante es interna a la propiedad, facilitando así el encendido de la estufa. La distribución de la propiedad y la estufa con las cañerías de escape de humos se aprecia en el plano de la Ilustración 6 y en la Ilustración 7. Las cañerías de escape avanzan guiada por la pared del salón hasta salir al exterior. En el anexo se muestra la secuencia de avance de la construcción de la estufa, Tabla 44.



Ilustración 6. Plano de sociedad de fomento y disposición de estufa Rocket en Salón Principal

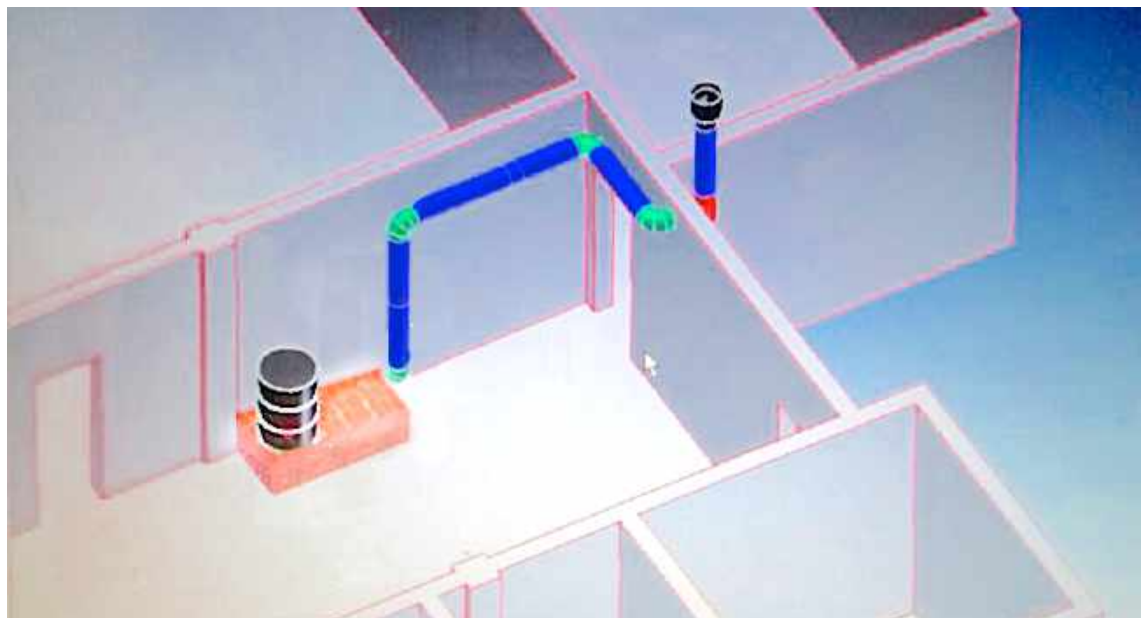


Ilustración 7. Esquema de estufa y cañerías en sociedad de fomento.

8. Intercambiador de calor

8.1. Definición

Este dispositivo tiene como objetivo transferir parcialmente el calor generado por la combustión en la estufa al aire que circula en su interior. El calor se transfiere de la estufa al intercambiador mediante convección y conducción. Mediante una línea de cañerías el calor será canalizado hasta el espacio de interés.

El diseño y disposición del intercambiador es fundamentales para el cumplimiento del objetivo de transporte de calor.

8.2. Tipos de intercambiador

Normalmente a nivel industrial el proceso de intercambio de calor se da entre dos fluidos a diferentes temperaturas y separados por una pared. el dispositivo que se utiliza para llevar a cabo este intercambio se denomina intercambiador de calor.

El tipo de intercambiador de mayor estudio técnico es el de casco y tubo como se ve en la Ilustración 8.

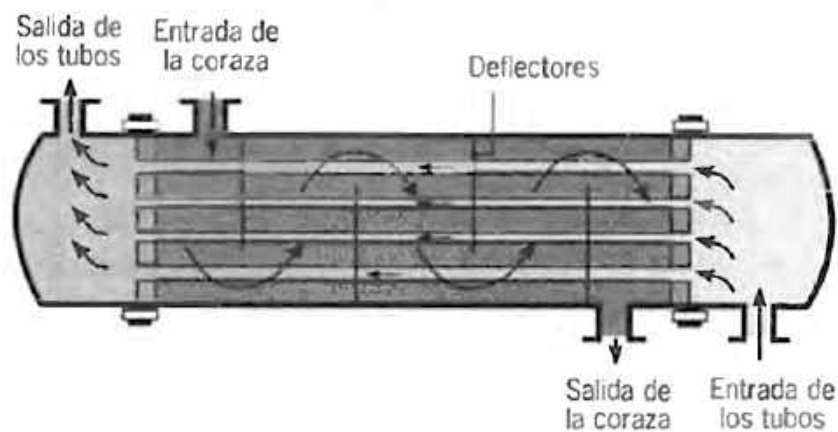


Ilustración 8. Intercambiador de calor de Casco y tubo.

Otra clase de intercambiadores de calor que se utilizan para lograr un área superficial de transferencia de calor por unidad de volumen muy grande son los denominados intercambiadores de calor compactos, como se ve en la Ilustración 9. Se usan normalmente cuando al menos uno de los fluidos es un gas, y en consecuencia se caracteriza por un coeficiente de convección pequeño.

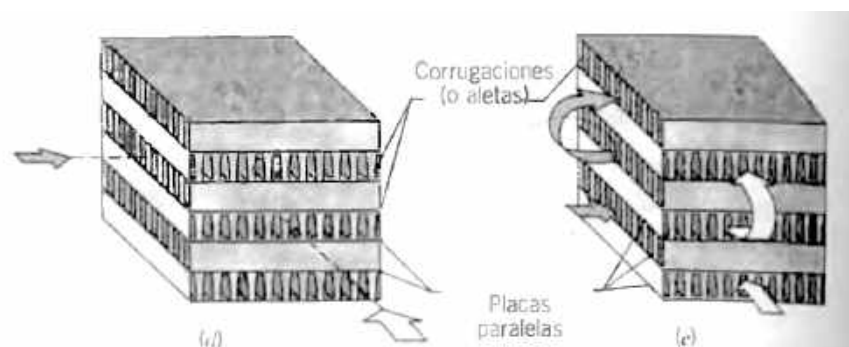


Ilustración 9. Intercambiador de calor compacto

9. Diseño y análisis del modelo

9.1. Primer diseño y mejoras

Los parámetros limitantes para el desarrollo del diseño del intercambiador fueron inicialmente dimensionales y económicos. La geometría de la estufa y de la vivienda impulsaron el desarrollo de más de un diseño. A continuación en la Ilustración 10 se muestra la idea inicial que guarda similitud con el tipo de intercambiador de calor de casco y tubo mencionado anteriormente. Este diseño requiere la adición de aletas al tiraje de la estufa y una reducción del banco de masa. Para mejorar la eficiencia se propone utilizar un forzador de aire a la salida que aumente el flujo de aire caliente hacia la habitación. Este modelo fue descartado debido a lo dificultoso que resultaría controlar y evitar fugas de los gases de combustión en el espacio anular que contiene el aire de intercambio.

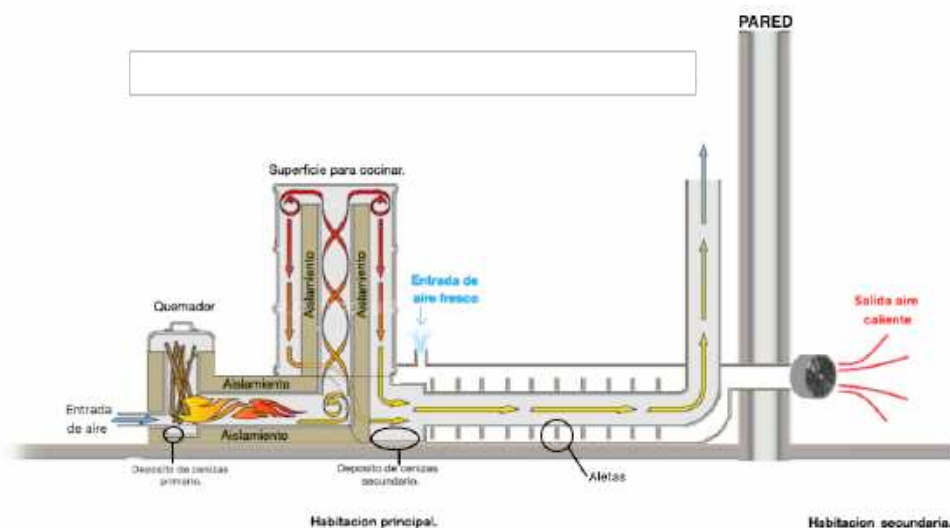


Ilustración 10. Primer diseño de intercambiador

9.2. Segundo diseño

El segundo diseño consta de un dispositivo metálico modular que envuelve parcialmente a la segunda cámara de combustión de la estufa, dicha zona es la que alcanza mayor temperatura. Además de la transferencia por convección, el contacto metal-metal permite la transferencia de calor por conducción. El dispositivo es hueco y cuenta con un conjunto de aletas longitudinales que aumentan el área superficial de transferencia. Se diseña de modo de aprovechar el sentido de circulación natural del aire a medida que este se calienta, es decir, el aire frío ingresa por la parte baja del intercambiador finalizando su recorrido por el mismo en la parte superior. En la Ilustración 11 se muestra el diseño preliminar del intercambiador.

El dispositivo envuelve la parte superior de la estufa para aprovechar la mayor y más eficiente superficie para el intercambio. Cubrir la parte alta de la cámara de combustión también ayuda en cuestiones de seguridad para el espacio, dado que muchos de los talleres que se dictan son para niños que quedan expuesto a esta superficie caliente, por lo tanto cubrirla aporta una mitigación al riesgo.

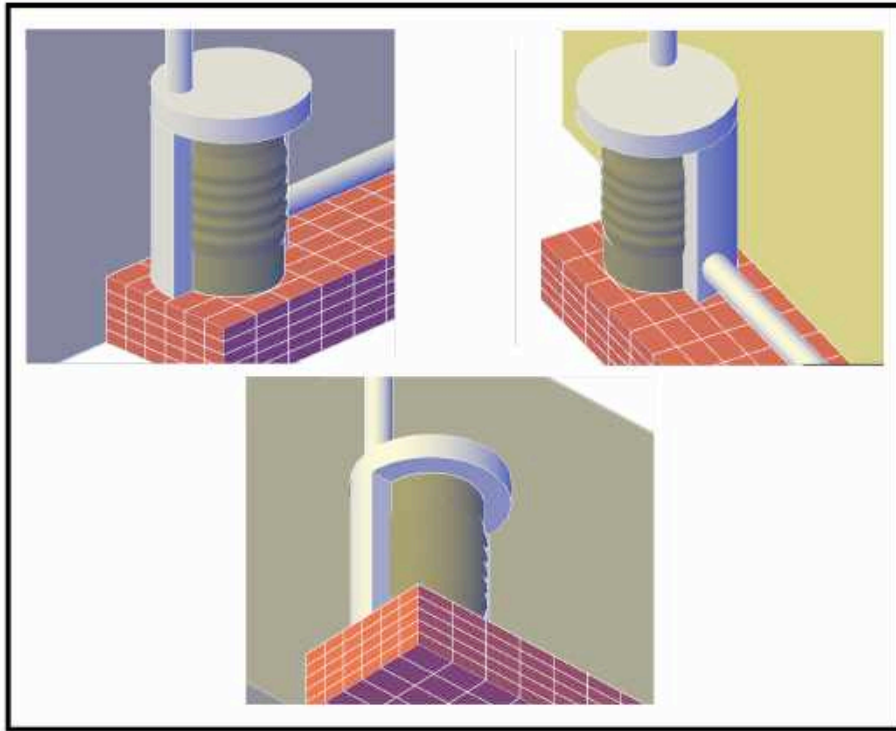


Ilustración 11. Intercambiador de calor modular con tapa completa.

9.3. Tercer diseño

Mediante la puesta en común de ideas con los participantes del taller y los representantes de la sociedad de fomento respecto a diseño y dimensiones del intercambiador de calor se decidió aprovechar parcialmente la superficie del tambor, o segunda cámara de combustión para dar opción a calentar agua o alimentos sobre la misma, por lo tanto se realizaron modificaciones sobre las dimensiones del intercambiador de la Ilustración 11 para dar con el modelo de la Ilustración 12, Ilustración 13 y la Ilustración 38 del Anexo.

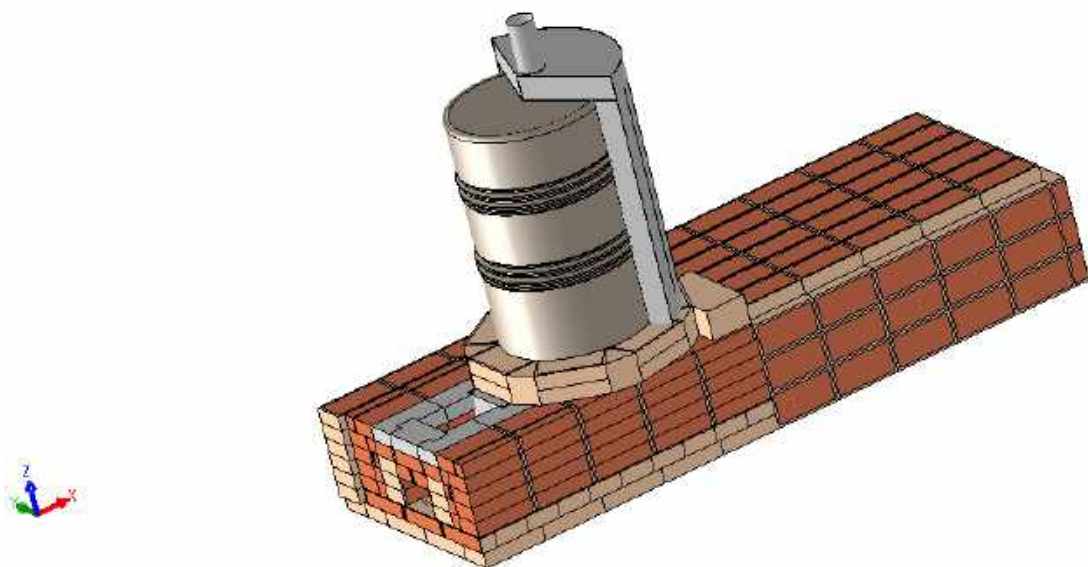


Ilustración 12. Tercer diseño de intercambiador de calor dispuesto en estufa

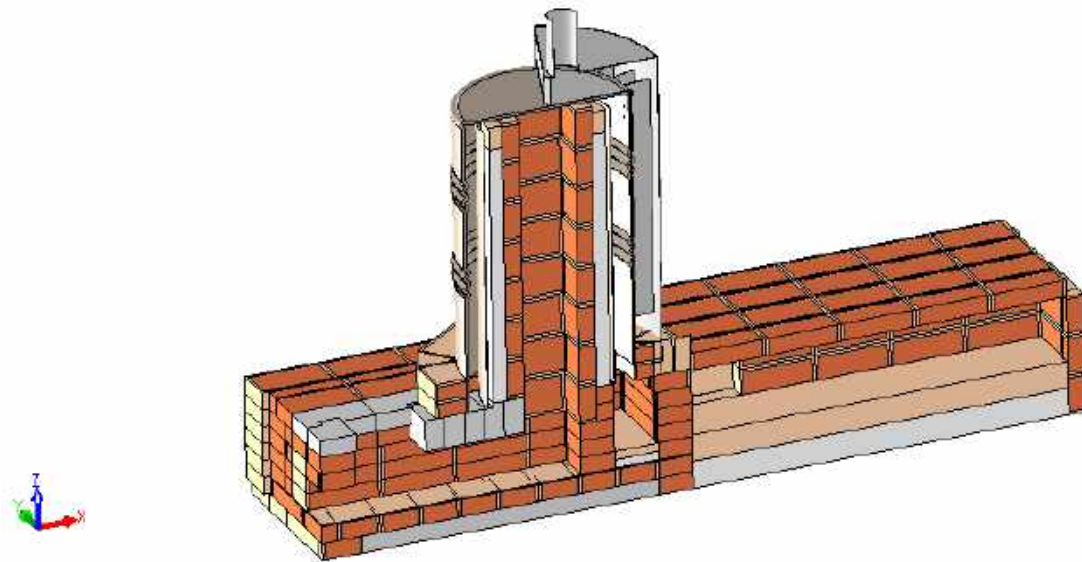


Ilustración 13. Vista en corte de conjunto estufa e intercambiador.

La distribución de cañerías para la canalización del aire caliente hasta la biblioteca se definió cruzando la sala de la habitación adjunta como se ve en la Ilustración 14. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** del Anexo se aprecian las fotos de la construcción de la estufa e instalación del intercambiador y cañerías. Esta tabla es un paso a paso de la ejecución del proyecto y de la intervención de la comunidad vecinal en el proceso.

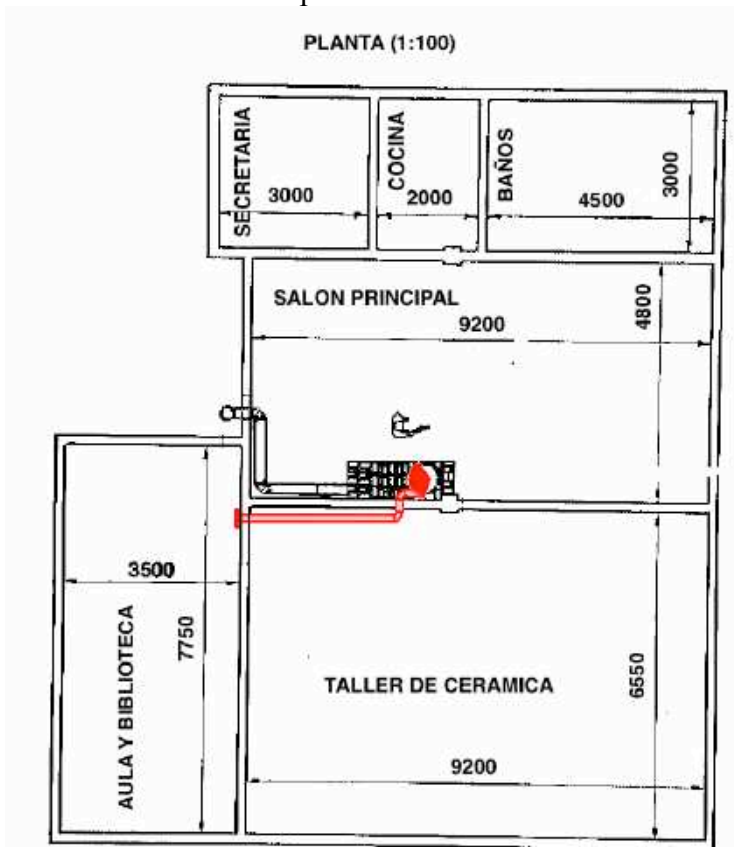


Ilustración 14. Plano de la propiedad y distribución de estufa e intercambiador.

10. Transferencia de calor

10.1. Fundamentos y principios

La transferencia de calor es una de las ramas del estudio de la termodinámica. La primera ley de la termodinámica o *Ley de la conservación de la energía*, Ecuación 1, vincula los flujos energéticos involucrados en un volumen de control definido. Los flujos de entrada y la generación interna incrementan la cantidad de energía almacenada en el volumen, mientras que el flujo de salida la disminuye.

$$E_{ent} + E_g - E_{sal} = E_{alm}$$

Ecuación 1. Conservación de la energía

El almacenamiento de energía se debe a cambios en las energías cinética y/o potencial del volumen de control para cualquier intervalo de tiempo, por lo tanto la energía almacenada se podría igualar a $\Delta U + \Delta E_{pot} - \Delta E_{cin}$. A modo de simplificar el planteo se considera que el volumen de control es un sistema cerrado y que la energía es transferida por interacciones de calor y trabajo, entonces el calor se transfiere al sistema en una cantidad igual a Q (flujo de entrada de energía) y realiza trabajo en una cantidad igual a W (flujo saliente de energía), además no ocurre conversión de energía dentro del sistema ($E_g = 0$) y los cambios de energía cinética y potencial se consideran insignificantes. Luego de este conjunto de simplificaciones se llega a la Ecuación 2.

El requerimiento de conservación de la energía instantáneo se expresa en la Ecuación 3.

$$Q - W = \Delta U$$

Ecuación 2. Conservación de la energía de sistema cerrado

$$q - \dot{W} = \frac{dU}{dt}$$

Ecuación 3. Conservación de energía para un instante.

En un caso más real se tendrán varios modos de transferencia de calor conviviendo en una misma superficie, para poder estudiar su relación se toma como área de control y análisis a la que se enmarca en la Ilustración 15. En las inmediaciones de la superficie los distintos modos ocurren al mismo tiempo y el conjunto afecta al balance energético final de la superficie.

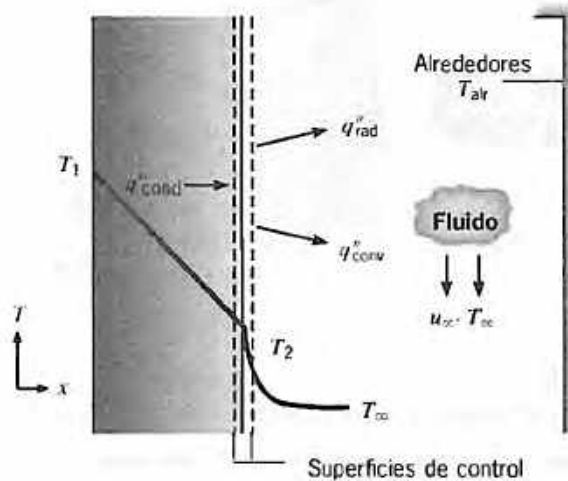


Ilustración 15. Balance de energía en volumen de control.

Los modos de transferencia son; conducción, desde el medio *hacia* la superficie de control; convección, *desde* la superficie hacia el fluido y por ultimo la radiación neta desde la superficie hacia los alrededores. El balance de energía toma entonces la forma de la Ecuación 4.

$$q''_{cond} - q''_{conv} - q''_{rad} = 0$$

Ecuación 4. Balance energético sobre superficie de control.

10.2. Modos de transferencia

La transferencia de calor se da debido a una diferencia de temperaturas. En la Ilustración 16 se muestran los distintos procesos de transferencia.

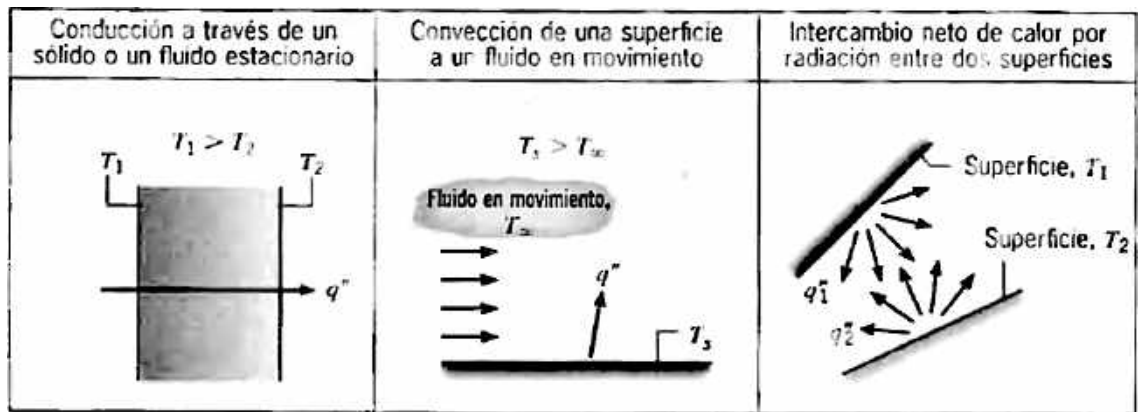


Ilustración 16 Modos de transferencia de calos: Conducción, convección y radiación.

10.3. Conducción

La conducción es el transporte de calor a través de un continuo de masa y se da cuando hay una diferencia de temperatura. Los métodos mediante los cuales se lleva a cabo este fenómeno son la interacción molecular y mediante los electrones libres.

La rapidez en la transferencia de calor, q_x , se relaciona con la variación de temperatura, con el área transversal y con la posición mediante una constante de proporcionalidad llamada conductividad térmica, k . Ecuación 5.

$$q_x = -k A dT/dx \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Ecuación 5. Rapidez de transferencia de calor por conducción.

La velocidad de conducción se expresa a través de la llamada ley de Fourier, Ecuación 6, siendo q'' el flujo de calor, cuya dirección será siempre normal a la superficie de temperatura constante, denominada superficie *isotérmica*.

$$q_x'' = q_x/A = -K dT/dx \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Ecuación 6 Ley de Fourier

La ley de Fourier es una expresión vectorial que indica que el flujo de calor es normal a una isoterma y en la dirección de la temperatura decreciente. En los materiales no conductores la transferencia de energía se da por la vía de ondas reticulares inducidas por el movimiento atómico, mientras que en los materiales conductores

además de lo mencionado anteriormente también se debe al movimiento de translación de los electrones libres.

10.4. Convección

Este tipo de transferencia de calor ocurre entre una superficie y un fluido en movimiento cuando están a diferentes temperaturas. Existen dos clases de procesos convectivos; convección forzada y convección natural. La convección forzada a diferencia de la natural se da cuando hay una intervención mecánica que genera la transferencia, la velocidad de transferencia es mayor en la convección forzada. La relación empírica mostrada en la Ecuación 7 para la transferencia por convección se conoce como ley de Newton (1701).

$$q_x'' = h (T_{superficie} - T_{fluido})$$

Ecuación 7 Ley de Newton

Surge de este análisis que el flujo de calor se relaciona con el calor total transferido por convección, q_x , como expresa la Ecuación 8.

$$q_x'' = q_x/A = h(T_s - T_f) [W/m^2]$$

Ecuación 8. Flujo de calor por convección.

10.5. Radiación

El mecanismo de transferencia de calor por radiación es la transferencia de energía por ondas electromagnéticas (Teoría de Maxwell). Todas las sustancias emiten radiación como resultado de su temperatura absoluta y son también capaces de absorber energía. La ley básica de radiación mostrada en la Ecuación 9 para cuerpos negros, es la ley de Stefan- Boltzman. Su contribución es solo importante para temperaturas que superen los 300°C. En el presente análisis de intercambio de la estufa con el intercambiador de calor no se superaran 250°C. (Incropera & De Witt, 1999)

$$Q = A\sigma T^4$$

Ecuación 9 Ley de Stefan Boltzman

10.6. Inercia térmica

La inercia o masa térmica es la capacidad de un material en absorber, almacenar y entregar calor. En general, cuanto mayor es el peso específico de los materiales de construcción, mejor es su capacidad para almacenar energía calórica. Las propiedades más importantes a tener en cuenta para seleccionar materiales con esta capacidad son:

1. Alta densidad.
2. Conductividad térmica apropiada, dado que si la conductividad es muy alta la energía absorbida podría ser liberada rápidamente impidiendo la acumulación requerida.

3. Baja reflectividad, ya que las superficies oscuras absorben mayor cantidad de energía que las brillantes. (Pastormelo & Souza, 2013)

10.7. Transferencia de calor desde superficies extendidas

Las superficies extendidas o aletas experimentan la transferencia de calor mediante el fenómeno de conducción y convección de forma conjunta. El principal motivo para la utilización de las aletas es aumentar el área de transferencia térmica y por lo tanto la rapidez de transferencia de calor entre un sólido y un fluido contiguo. (Incropera & De Witt, 1999)

11. Materiales y propiedades termo-físicas

11.1. Transferencia conductiva

La ley de Fourier rige la transferencia de calor por conducción y define la conductividad térmica del material. Se aplica para toda la materia sin importar si se encuentra en estado sólido, líquido o gaseoso. Según esta ley, representada en la Ecuación 6, se deduce que la conductividad térmica se define de la siguiente manera en la Ecuación 10.

$$k \equiv -q''_x / (\partial T / \partial x) [W / m \cdot K]$$

Ecuación 10. Conductividad térmica

Definido un gradiente de temperatura, el flujo de calor por conducción aumenta con el incremento de la conductividad térmica, k . Esta última es mayor en un sólido que en un líquido, y que a su vez mucho mayor que en un gas. La conductividad térmica de un sólido puede ser mayor que la de un gas en más de cuatro órdenes de magnitud. Este fenómeno se explica principalmente por las diferencias en el espacio intermolecular para los dos estados. En la Ilustración 17 se muestra la escala de conductividad térmica para distintos estados de la materia, a temperaturas y presiones normales.

En función a lo anterior se define el tipo de material más apropiado para la construcción de un intercambiador. Los metales cumplen los requisitos necesarios en cuanto a valores de conductividad térmica. Dentro de los metálicos más comunes y de costo moderado encontramos al acero aleado con carbono, o simplemente acero al carbono, cuyos parámetros de conductividad y calor específicos se muestran en la Tabla 7.

Para definir con más precisión los valores de conductividad térmica del conjunto de aceros al carbono se definió inicialmente como temperatura de la superficie 200°C, dado que es la temperatura aproximada que se esperaría obtener en las paredes de la cámara de combustión, ya que, las paredes de la cámara estarán en contacto con el intercambiador permitiendo la transferencia por conducción térmica.

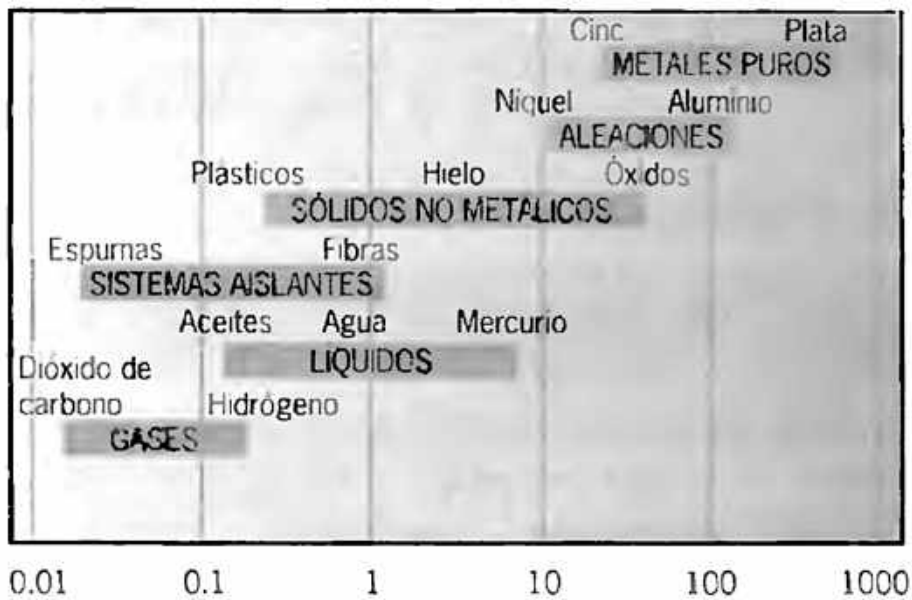


Ilustración 17. Conductividad térmica (W / m . k)

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K					Propiedades a varias temperaturas (K)									
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	k (W/m · K), c_p (J/kg · K)										
						100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	
Acero puro	1810	7870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8	28.3	32.1			
Aceros al carbono						216	384	490	574	680	975	609	654			
Carbon ordinario (Mn \leq 1%, Si \leq 0.1%)		7854	434	60.5	17.7			56.7	48.0	39.2	30.0					
AISI 1010		7832	434	63.9	18.8			487	559	685	1169					
								58.7	48.8	39.2	31.3					
								487	559	685	1168					

Tabla 7. Conductividad térmica (W / m . k) y calor específico (J / kg . K)

La densidad (ρ) es otra propiedades muy importante que se requiere en el análisis termodinámico. El producto $\rho \cdot C_p$ (J/m³ · K), denominado capacidad térmica volumétrica, mide la capacidad de un material para almacenar energía térmica. A raíz de este producto es que se define también la difusividad térmica (α), que es la razón entre la conductividad térmica y la capacidad térmica, como se ve en la Ecuación 11, y mide la capacidad de un material en conducir energía térmica en relación a su capacidad para almacenarla.

Cuanto más grande sea el valor de α tanto mas adecuados serán los materiales para la conducción de calor, dado que responderán rápidamente a un cambio térmico del medio, esto es lo deseado en los materiales constituyentes de un intercambiador de calor. En contraposición cuando en un material se tiene alta capacidad de conducción de energía térmica significa que no será adecuado para el almacenamiento del calor, como suele requerirse en los aislantes térmicos. Según la temperatura seleccionada obtendremos que el acero al carbono tiene un valor aproximado de difusividad térmica de $10,93 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

$$\alpha = k / (\rho \cdot C_p) \text{ [m}^2 / \text{s]}$$

Ecuación 11. Difusividad térmica

Para determinar la distribución de temperaturas es necesario resolver la ecuación de calor cuya solución depende de las condiciones de frontera y de las condiciones del

medio en un tiempo inicial, dado que el problema depende del tiempo. Las distintas condiciones de frontera se resumen en la Ilustración 15.

Las condiciones de frontera para el caso de análisis requieren el estudio de la superficie, dado que la cámara de combustión se encuentra en contacto permanente con el intercambiador de calor, lo que corresponde a la condición de segunda clase o también llamada condición de Neumann, esta representa la existencia de un flujo de calor fijo o constante q'' en la superficie. Este flujo de calor se relaciona con el gradiente de temperatura en la superficie mediante la ley de Fourier, Ecuación 6, con $x=0$. Luego debido a que las demás paredes de intercambiador están expuestas al ambiente entonces la condición de frontera para ellas será la de tercera clase, de forma similar sucede en el interior del intercambiador donde el fluido que lo recorre es aire.

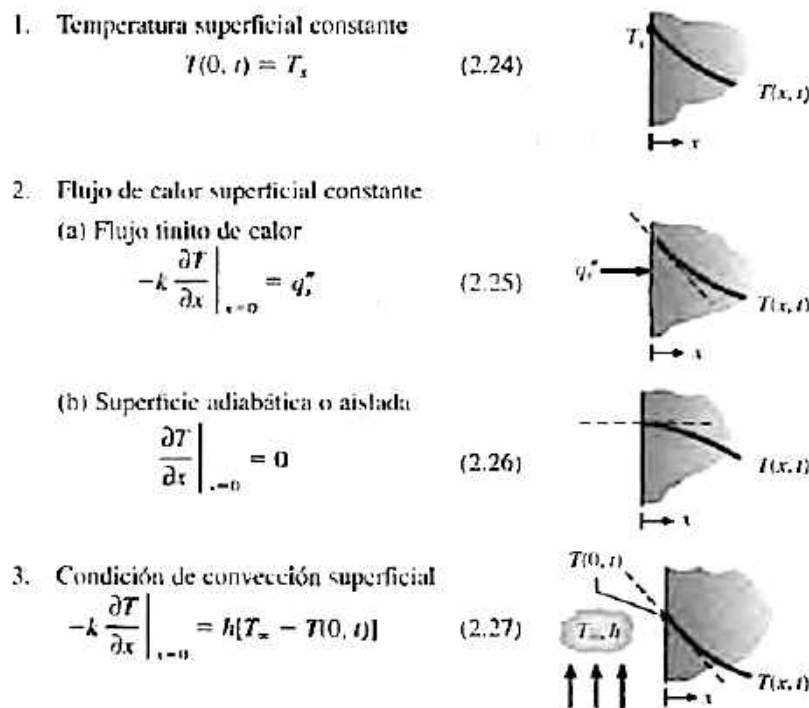


Ilustración 18. Condiciones de frontera

11.1. Transferencia convectiva

En este análisis es de sumo interés calcular el convectivo del aire h_{air} que circula tanto por dentro como por fuera del intercambiador. Este coeficiente debe calcularse porque depende de parámetros variables como la geometría, la naturaleza del fluido, propiedades físicas como densidad y viscosidad, la velocidad y condiciones del flujo como temperatura y presión, si el flujo es laminar o turbulento o si es interno o externo. El fluido intercambia calor con el sólido en la proximidad de la superficie del mismo el problema ingenieril trata principalmente sobre conducción y movimiento de los fluidos.

En este caso de estudio la convección que se tiene es natural, es decir que el fluido se mueve debido a un gradiente de temperaturas que ocasiona una diferencia de densidades en el fluido, es decir, una diferencia del peso específico que genera el movimiento del fluido.

Las leyes que rigen el fenómeno de la transferencia convectiva son la conservación de la masa, del movimiento y de la energía. Luego de la resolución de la ecuación de continuidad y momento podemos obtener el campo de velocidades y el

campo de presiones de un fluido, y si a estos campos se los introduce en la ecuación de conservación de la energía se obtiene entonces el gradiente de temperaturas del fluido.

Finalmente, con la obtención del gradiente de temperaturas y aplicando la ley de Fourier se llega a la obtención de la transferencia de calor dentro del fluido.

Dado que el análisis del fenómeno de transferencia de fluidos y la obtención del gradiente de temperaturas es complejo se utilizan simplificaciones que permiten aproximar los cálculos de la transferencia de calor. Estas aproximaciones se obtienen del estudio de las capas límite hidrodinámica y térmica del fluido, que analizan solo la interface sólido – líquido dado que es en estas capas donde ocurre el 99% de la transferencia. A partir de experimentos se lograron validar ecuaciones entre grupos adimensionales que se conocen como correlaciones, estas solo deben ser aplicadas en aquellos casos donde se cumplen los términos en los que fueron desarrolladas, es decir, se debe respetar por ejemplo si el flujo es laminar o turbulento, interno o externo, etc.

Los números adimensionales utilizado más frecuentemente son:

- Re, Numero de Reynolds; este se formula en la Ecuación 12 mostrando la relación existente entre las fuerzas viscosas y las de inercia . La fuerzas de inercia se calculan en función de la velocidad del fluido, densidad y distancia característica y viscosidad. Este número permite determinar si el flujo es laminar o turbulento. La distancia crítica, x_c , es aquella en la que prevalece el flujo laminar y se representa en la Ilustración 19. En placas planas generalmente se adoptan valores de $Re \approx 10^5$ a $3 \cdot 10^6$. Para hallar el valor de este numero adimensional es necesario contar con la velocidad del flujo de aire. Para tener conocimiento del rango de valores de velocidad disponible dentro de una vivienda se utilizan valores de mediciones experimentales que brindan una referencia. En el Gráfico 6 se puede ver la velocidad que adquiere el aire discriminado según las habitaciones típicas que hay en una casa, se toma como referencia el promedio de mediciones de la sala, donde tentativamente se colocaría la estufa dado que es el espacio común del hogar. *Valores obtenidos del Centro Meteorológico de Vilanova i la Geltru (CMVG), España.*

$$Re = u_{\infty} \cdot x_c / \nu = \rho \cdot u_{\infty} \cdot x_c / \mu$$

Ecuación 12. Número de Reynolds

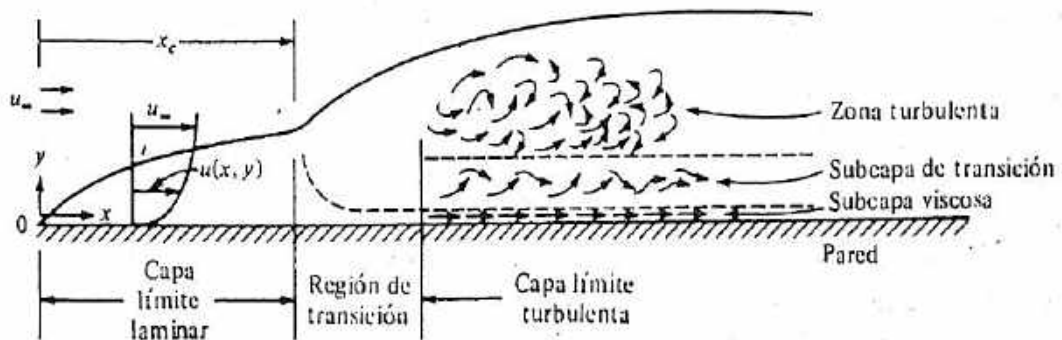


Ilustración 19. Regiones de capas límites y distancia crítica.

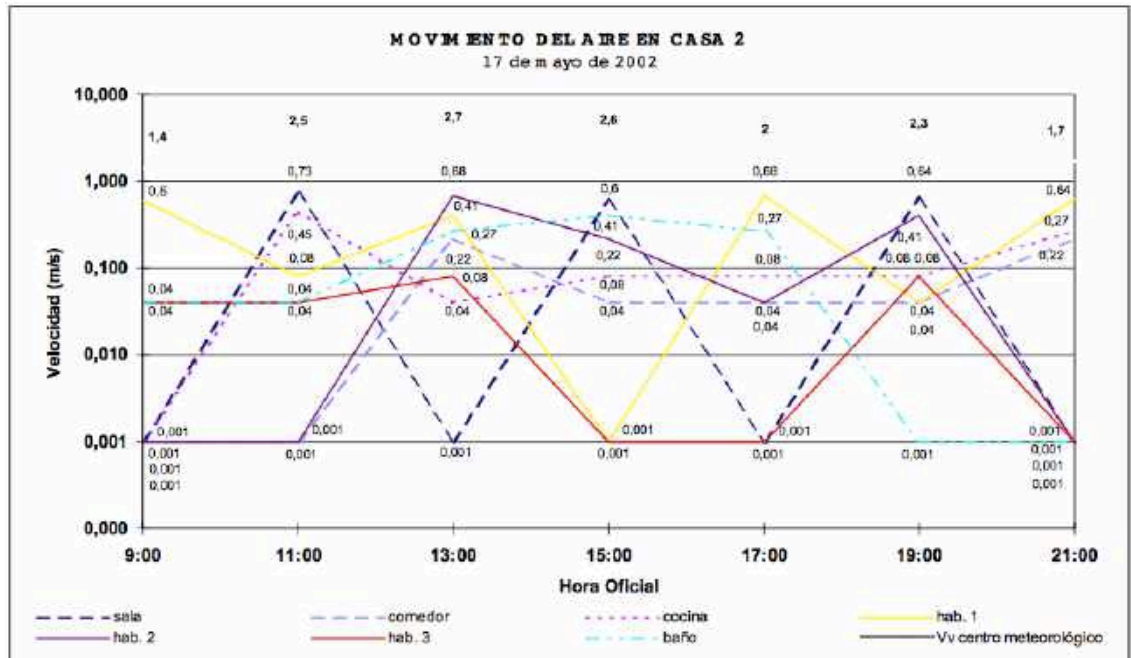


Gráfico 6. Velocidades del viento registradas en cada espacio de la casa por el CMVG

- *Nu, Numero de Nusselt*; este numero cobra gran importancia en el calculo de transferencia de calor por convección dado que contiene entre sus factores participantes al coeficiente pelicular, h , y es a partir de el Nu que se despeja h . Este numero adimensional se obtiene de igualar la ecuación de Fourier con la ecuación de Newton.
- *Pr, Numero de Prandtl*. Es una relación de los espesores de las capas limite hidrodinámica y térmica. Si Pr es igual a 1 entonces significa que las capas limites tiene el mismo espesor y coinciden.

Estos son algunos de los números adimensionales mas utilizados en el calculo de la transferencia de calor. Existen muchos otros números adimensionales como el numero de Grashof, que se utiliza cuando interviene la convección libre en el problema, este numero se explicara mas adelante. Los demás parámetros necesarios para calcular estos números adimensionales están tabulados y algunos de ellos se pueden encontrar por ejemplo en función de la temperatura y de la presión .

También es necesario calcular la temperatura promedio ambiente para aplicar en los cálculos. El periodo critico de utilización de la estufa es durante la estación invernal, donde se llegan a temperaturas y sensación térmica muy bajas. Durante la época invernal promedio en la ciudad de mar del plata la temperatura ronda los 10°C como se ve en el Gráfico 7, confeccionado por la *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOOA)*.

Propiedades del aire a la presión de 1 atm							
Temp., T, °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, C _p , J/kg · °C	Conductividad térmica, k, W/m · °C	Difusividad térmica, α , m ² /s	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158 × 10 ⁻⁵	8.636 × 10 ⁻⁶	3.013 × 10 ⁻⁵	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036 × 10 ⁻⁵	1.189 × 10 ⁻⁵	5.837 × 10 ⁻⁶	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252 × 10 ⁻⁴	1.474 × 10 ⁻⁵	9.319 × 10 ⁻⁶	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356 × 10 ⁻⁴	1.527 × 10 ⁻⁵	1.008 × 10 ⁻⁵	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465 × 10 ⁻⁴	1.579 × 10 ⁻⁵	1.087 × 10 ⁻⁵	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578 × 10 ⁻⁴	1.630 × 10 ⁻⁵	1.169 × 10 ⁻⁵	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696 × 10 ⁻⁴	1.680 × 10 ⁻⁵	1.252 × 10 ⁻⁵	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818 × 10 ⁻⁴	1.729 × 10 ⁻⁵	1.338 × 10 ⁻⁵	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880 × 10 ⁻⁴	1.754 × 10 ⁻⁵	1.382 × 10 ⁻⁵	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944 × 10 ⁻⁴	1.778 × 10 ⁻⁵	1.426 × 10 ⁻⁵	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009 × 10 ⁻⁴	1.802 × 10 ⁻⁵	1.470 × 10 ⁻⁵	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074 × 10 ⁻⁴	1.825 × 10 ⁻⁵	1.516 × 10 ⁻⁵	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141 × 10 ⁻⁴	1.849 × 10 ⁻⁵	1.562 × 10 ⁻⁵	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208 × 10 ⁻⁴	1.872 × 10 ⁻⁵	1.608 × 10 ⁻⁵	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277 × 10 ⁻⁴	1.895 × 10 ⁻⁵	1.655 × 10 ⁻⁵	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346 × 10 ⁻⁴	1.918 × 10 ⁻⁵	1.702 × 10 ⁻⁵	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416 × 10 ⁻⁴	1.941 × 10 ⁻⁵	1.750 × 10 ⁻⁵	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487 × 10 ⁻⁴	1.963 × 10 ⁻⁵	1.798 × 10 ⁻⁵	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632 × 10 ⁻⁴	2.008 × 10 ⁻⁵	1.896 × 10 ⁻⁵	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780 × 10 ⁻⁴	2.052 × 10 ⁻⁵	1.995 × 10 ⁻⁵	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931 × 10 ⁻⁴	2.096 × 10 ⁻⁵	2.097 × 10 ⁻⁵	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086 × 10 ⁻⁴	2.139 × 10 ⁻⁵	2.201 × 10 ⁻⁵	0.7132

Tabla 8. Propiedades termo-físicas del aire a presión atmosférica



Gráfico 7. Temperaturas climática promedio mensual en Mar del Plata

12. Teoría de chimeneas

El tiro de una chimenea genera una depresión en la parte baja de la misma a raíz de una diferencia de presión entre los gases que avanzan por el interior del conducto y la presión que tiene el aire ambiente estratificado a la misma altura pero externo a la chimenea. El tiro disponible en la chimenea surge a partir de la diferencia que hay entre el tiro natural generado por la diferencia de presiones interior y exterior, las pérdidas generadas por el viento y las pérdidas de carga que se producen en el interior del conjunto esencialmente por el roce entre el humo y las paredes y los elementos accesorios que se coloquen. Estas últimas son llamadas pérdidas secundarias y se describirán en detalle en capítulos posteriores. Por otro lado el llamado tiro artificial se produce por elementos mecánicos que permiten la compensación de las pérdidas de carga que hay en el interior del tiraje de la chimenea, estos dispositivos pueden ser

extractores o ventiladores que generan la presión adecuada permitiendo chimeneas más pequeñas que las de tiro natural y con flujos iguales.

El tiro se produce debido a que los gases interiores busca nivelar su presión con la del aire exterior a la misma altura. Este intento de nivelación genera el movimiento del flujo interno de gases que tiene aparejada una velocidad relativa a los mismos. El caudal de gases que escapa por la chimenea surge del producto entre la velocidad del flujo y el área transversal de la chimenea.

La teoría de Arquímedes enuncia que la columna de gas que hay en el interior de la chimenea experimenta un empuje hacia arriba que es igual al peso del aire que sale de la chimenea.

Debido que los gases tienen la propiedad de reducir su densidad con un aumento de la temperatura o una disminución de la presión entonces el modo de circulación que adoptara el aire y los humos dentro de la chimenea será en función de los valores que tomen estos parámetros. El humo y gases al subir por la chimenea se van enfriando y volviéndose mas pesados y lentos. Cuando la densidad o peso específico de los humos es mayor a la del aire ambiente, entonces los humos producirán una corriente de reflujo volviendo a la boca de carga de la estufa. Para favorecer la circulación se puede aumentar la diferencia de presiones mediante el aumento de la altura de la chimenea. (García San José, 2006)

A modo de comprobar la aplicabilidad de la teoría de chimeneas en el caso del flujo de aire por dentro del intercambiador se aplican los lineamientos correspondientes. En capítulos siguientes estos valores comparados con los resultados experimentales. Para describir el comportamiento del flujo másico del aire en el interior de un ducto que transportara los gases hasta la habitación se aplican los lineamientos de chimeneas solares, que permite hallar una ecuación que describe este comportamiento. El caudal de aire que fluye por el conducto se evalúa en una posición determinada del mismo. Los índices H y 0 indican que las propiedades del aire fueron evaluadas a la altura de salida del intercambiador y a su entrada respectivamente.

$$Q_0 = C_D A_T \left[\frac{2(P_a^0 - P_0)}{\rho_0} \right]^{0,5}$$

Ecuación 13. Caudal de Aire que Fluye a la Entrada del Conducto, Altura Inicial.

$$Q_H = C_D A_T \left[\frac{2(P_H - P_a^H)}{\rho_H} \right]^{0,5}$$

Ecuación 14. Caudal de Aire que Fluye a la Salida del Conducto, Altura Final.

El parámetro C_D relaciona el caudal real con el caudal teórico, se denomina coeficiente de descarga, A_T es el área transversal al flujo de aire. La velocidad del aire se calcula a partir de la ecuación de Bernoulli evaluada a la entrada y a la salida del conducto, P es la presión de la columna de aire en su interior, P_a la presión atmosférica y ρ la densidad del aire.

Se calcula la presión estática de la columna de aire a la entrada del ducto y en el exterior del ducto, considerándolo en estado estacionario. La diferencia de estas presiones define la fuerza de ascensión. La presión estática es la presión del el fluido estático y depende del peso específico y de la altura. Debido a que la densidad del aire varia con la temperatura se utiliza un valor medio de la densidad. Para el aire en el exterior se considera una temperatura uniforme T_a .

$$(P_a^0 - P_0) + (P_H - P_a^H) = gH(\rho_a - \bar{\rho})$$

Ecuación 15. Presión de ascensión del fluido por el ducto

Si se remplazan las diferencias de presiones obtenidas de las ecuaciones Ecuación 13 y Ecuación 14 en la Ecuación 15 se llega a la siguiente expresión en función de los caudales.

$$Q_0^2 \rho_0 + Q_H^2 \rho_H = (C_D A_T)^2 2gH(\rho_a - \bar{\rho})$$

Ecuación 16. Calculo de la presión estática en función de los caudales

Es necesario considerar la ecuación de continuidad para el flujo másico, Ecuación 17, dado que existe un gradiente de densidades dentro del ducto. La ley de conservación correspondiente a la capa límite de velocidad o hidrodinámica expresa que la materia no se puede crear ni destruir. La velocidad neta a la que la masa atraviesa al volumen de control tiene que ser igual a cero.

$$\dot{m} = \rho_0 Q_0 = \rho_H Q_H$$

Ecuación 17. Continuidad del Flujo Másico

Introduciendo la Ecuación 17 en la Ecuación 16, se obtiene finalmente la expresión para el flujo másico del aire.

$$\dot{m} = C_D A_T \left[\frac{gH\rho_0\rho_H(\rho_a - \bar{\rho})}{\bar{\rho}} \right]^{0,5}$$

Ecuación 18. Flujo Másico del Aire

En la Ecuación 18, el flujo másico del aire depende de la longitud del ducto y de la diferencia de densidad del aire en el interior y en el exterior y del diámetro de la cañería. Para lograr una primera estimación del caudal necesario se propone una temperatura media de 20°C entre la entrada y la salida del aire a través del intercambiador. Para las chapa lisa el coeficiente de descarga tiene valores cercanos a la unidad. En consecuencia, las variables finales de la ecuación son la altura y el diámetro del conducto y la diferencia de densidad del aire entre el interior y el exterior, evaluados en el punto de salida. El valor del flujo másico para nuestro caso de estudio es el siguiente, expresado en la Ecuación 19 que muestra según la teoría de chimeneas el caudal másico obtenido en el tiraje de conducción de en el interior del intercambiador.

$$\dot{m} = 0,008 \frac{kg}{s}$$

Ecuación 19. Flujo Másico en Ducto de Intercambiador Calculado por la Ecuación de Chimeneas.

13. Validación por método numérico.

13.1. Flujo Natural

En la Ilustración 20 se muestra la trayectoria que realiza el fluido por el interior del intercambiador de calor. Mediante los supuestos que se plantearan a continuación se realizaran los cálculos la transferencia térmica.

El intercambiador se plantea en posición vertical haciendo que la pared posterior se mantenga en contacto permanente con la cámara de combustión, de forma que el flujo de aire interior recorra el intercambiador en dirección ascendente, esto se deberá a la diferencia de densidades que experimenta el aire cuando al calentarse.

El aire ingresa aproximadamente a una temperatura ambiente de 10°C por el conducto inferior y luego entra en contacto con la pared caliente del intercambiador. La pared caliente le transfiere el calor al aire a medida que este avanza.

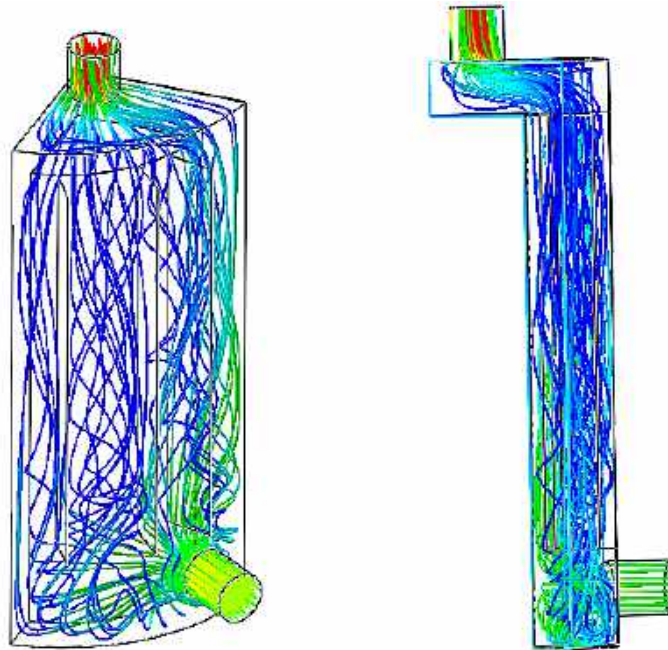


Ilustración 20. Movimiento del fluido dentro del intercambiador

Para saber a qué temperatura sale el aire por el conducto superior es necesario simplificar el planteo del problema para poder hallar y aplicar las correlaciones adecuadas. Como sintetización se propone al análisis solo de una porción del flujo que recorre el intercambiador, la cual fluye entre dos de las aletas, luego se aplicaran los resultados al modelo generalizado.

En la Ilustración 21 se aprecia la trayectoria que recorrerá el aire el área seleccionada para el estudio. El fluido ingresa frío por el conducto inferior y abandona el equipo a una temperatura mayor a la que ingreso por el lado opuesto.

Si no se consideran las curvas que recorre el fluido, se puede aproximar el modelo al flujo de aire dentro de una tubería vertical de aproximadamente 1,5 metros de longitud. Se utiliza esta relación para realizar los cálculos del convectivo del aire en el interior de una tubería.

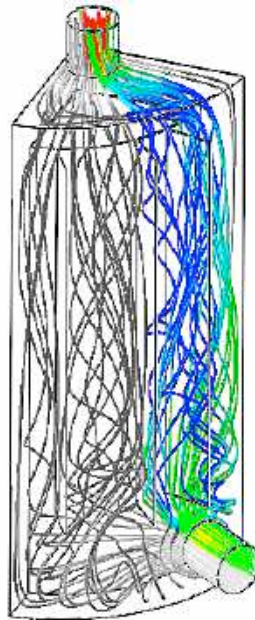


Ilustración 21. Flujo parcializado dentro del intercambiador de calor

En el siguiente esquema, Ilustración 22, se detallan los parámetros geométricos del intercambiador de calor y de su disposición frente a la estufa Rocket para luego con ellos desarrollar los cálculos correspondientes a la transferencia de calor.

La estructura que está dispuesta a la derecha del esquema es la vista en corte del intercambiador de calor, donde se aprecian las aletas y el espacio disponible entre el área $A1$ y el área $A2$ que son las superficies envolventes del mismo. Del lado izquierdo de la imagen se representa con un rectángulo oscuro la cámara de combustión de la estufa Rocket, esta permite mostrar la película de aire existente entre la cámara de combustión y el intercambiador de calor.

A pesar de la existente área de contacto metal-metal entre el intercambiador de calor y la cámara de combustión es más representativo el espacio intermedio que hay entre ellos a través del cual circula aire. Por lo tanto como simplificación se plantea que el intercambiador de calor está simplemente apoyado sobre la cámara de combustión con la que no tiene contacto directo, sin embargo, el espesor de la película de aire que queda entre una superficie y la otra es menor al milímetro.

Al partir del cálculo de estas áreas y del espaciamiento que hay entre el intercambiador de calor y la estufa se plantea la analogía de la resistencia térmica que ejerce cada interfaz presente en el estudio.

El orden de cada etapa de análisis se corresponde de la siguiente manera; inicialmente al espacio entre la cámara de combustión y el intercambiador de calor por el cual fluye el aire habrá una resistencia térmica en función del coeficiente convectivo, h_2 , la resistencia de dicha interfaz es R_0 . Seguidamente se encuentra la pared interna del intercambiador de estructura envolvente y área $A1$, en este caso la resistencia térmica será función del factor de conductividad térmica del acero, R_2 . La transferencia de calor próxima será una combinación de la resistencia térmica debido al aire que hay entre las paredes internas del intercambiador de calor, R_3 , y la resistencia que ejerce la aleta en esta sección, R_4 , estas últimas dos se disponen en paralelo. Nuevamente tenemos la resistencia ejercida por la pared exterior del intercambiador, representada por el área $A2$ y cuya resistencia térmica se muestra como R_2 . Por fuera del intercambiador de calor el aire ambiente tiene una temperatura aproximada de 10°C , esta interacción también impone una resistencia térmica en función del convectivo del

aire exterior. El calculo de estas resistencias y coeficientes se desarrollara en la unidad siguiente.

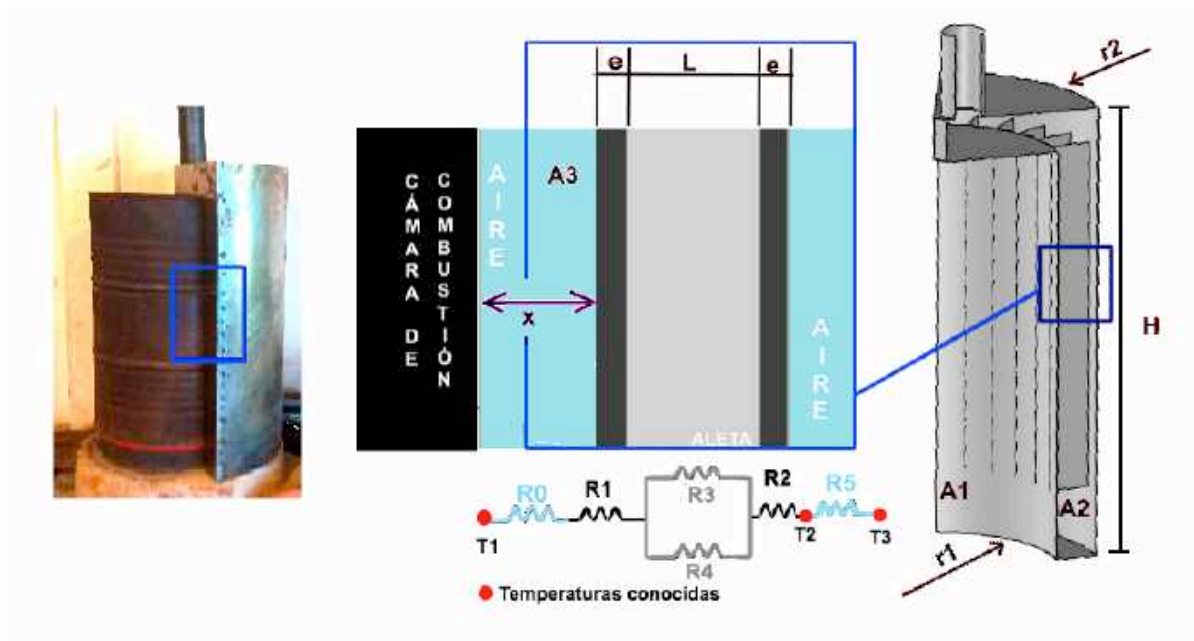


Ilustración 22. Resistencias térmicas

13.2. Calculo del convectivo interno del aire en convección libre

Cuando la transferencia de calor por convección se da en corrientes de fluido donde la velocidad del mismo no es forzada se denomina entonces convección libre o natural y se origina cuando una fuerza actúa sobre un fluido en el que hay gradientes de densidad, el efecto neto es una fuerza de empuje que induce corrientes de convección libre. En el caso más común, el gradiente de densidad se debe a un gradiente de temperatura que crea un campo de velocidades mientras que la fuerza se debe al campo gravitacional.

En el caso de la convección forzada el flujo es causado por medios externos como extractores o forzadores.

Por dentro del intercambiador existe un flujo de aire debido al gradientes de densidades que experimenta en la trayectoria por el intercambio térmico, es decir, que la convección libre imparte presencia en esta sección del análisis.

La fuerza que interactúa con el flujo, F_C , Ecuación 20, está relacionada con la densidad inicial y final del fluido, se vincula con el coeficiente de dilatación volumétrica, β , y con la diferencia de temperatura (ΔT) que hay entre el ambiente (T_∞) y la superficie de la cámara de combustión ($T_w = T_s$).

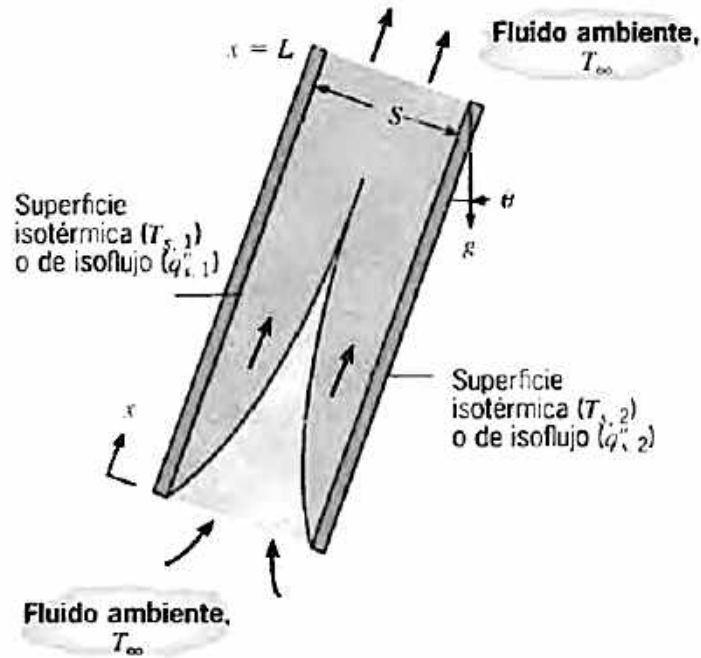


Ilustración 23. Flujo entre placas

$$F_C = (\delta - \delta_0)g = \delta_0\beta g\Delta T$$

Ecuación 20

En convección natural, a diferencia del caso de convección forzada, no es de interés conocer el campo de velocidades con que se mueve el fluido, esto se debe a que el mismo se mueve a causa de la acción gravitatoria, entonces la velocidad que sufre a lo largo de la trayectoria varía en función al gradiente de densidades que experimenta. El número adimensional de Grashof puede interpretarse como una relación entre las fuerzas de flotación que inducen el movimiento y las fuerzas viscosas que se oponen al mismo y su fórmula se expresa en la Ecuación 21.

De forma análoga en el caso de convección forzada se utiliza el número de Reynolds, el cual tiene en cuenta las fuerzas de inercia, en el caso de convección natural se utiliza el número de Grashof que considera las fuerzas gravitatorias.

$$Gr = \frac{L^3 \delta^2 \beta g \Delta T}{\mu^2} = \frac{L^3 \beta g (T_w - T_\infty)}{\nu^2}$$

Ecuación 21.

La variación de la densidad del fluido debido a la temperatura se representa introduciendo al coeficiente volumétrico de expansión térmica, β , este valor es una propiedad termodinámica del fluido y representa la tendencia a cambiar su volumen en respuesta a un cambio en su temperatura, manteniendo la presión constante.

Para el caso del aire a temperaturas cercanas a la ambiente, el valor que toma este parámetro se muestra en la Ecuación 23. Al usar las correlaciones anteriores, las propiedades del fluido se evalúan a temperaturas promedio, \bar{T} mostradas en la Ecuación 22.

En este estudio se relevaron temperaturas en función del tiempo para la cámara de combustión de la estufa Rocket y del intercambiador de calor mostradas en el

Gráfico 8. Se sabe, por lo tanto, que las paredes laterales de la cámara de combustión llegan a una temperatura de 200°C luego de 30 minutos de encendida la estufa. A partir de dichos datos experimentales también se determina que pasados los 50 minutos de encendida la estufa, la pared externa del intercambiador, la cual tiene contacto con el ambiente frío, eleva su temperatura superficial de 18°C a 32°C, una diferencia de 14°C debidos principalmente a la transferencia convectiva. El aire ambiente se encuentra a 10 °C, temperatura promedio correspondiente a estación invernal.

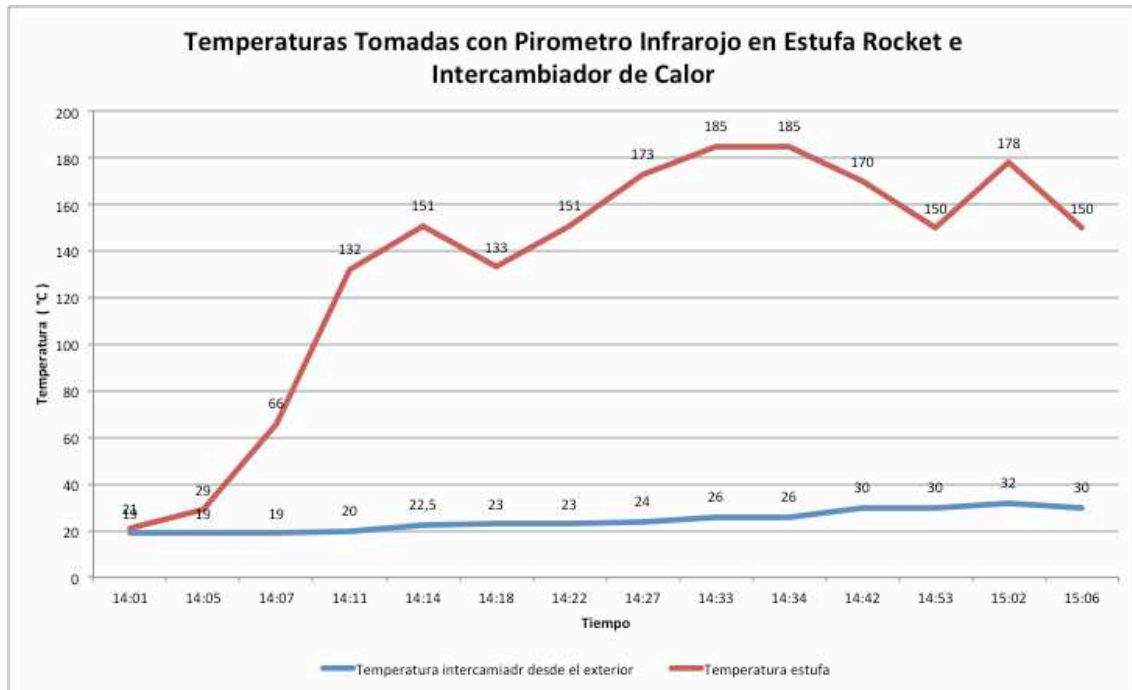


Gráfico 8. Mediciones con pirómetro infrarrojo de carcasa de intercambiador y cámara de combustión de estufa.

$$\bar{T} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{30^\circ\text{C} + 10^\circ\text{C}}{2} = 20^\circ\text{C}$$

Ecuación 22. Temperatura media

$$\beta = 3,667 \cdot 10^{-3} \text{ [}^\circ\text{C}^{-1}\text{]}$$

Ecuación 23. Coeficiente volumétrico de expansión térmica

$$\nu = 1,562 \cdot 10^{-5} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

Ecuación 24. Viscosidad cinemática

El numero de *Prandtl*, Ecuación 26, como se menciona anteriormente, se puede interpretar como una relación entre la capacidad de difusión del fluido por viscosidad y la difusión del mismo por conducción térmica, es decir, brinda una referencia respecto de la efectividad del transporte de momento y energía por difusión en las capas límite hidrodinámica y térmica.

En el caso de los gases el número de *Prandtl* es aproximadamente cercano a la unidad, lo que significa que la transferencia de energía es igual a la transferencia de momento por difusión.

Finalmente, con el número de *Grashof* y *Prandtl* se define el número de *Rayleigh* en la Ecuación 27, el cual se utiliza como referencia para calcular rápidamente el número de *Nusselt* a partir de correlaciones. Con los valores anteriores se calculan los siguientes parámetros:

$$Gr = 2,5 \cdot 10^{10}$$

Ecuación 25. Valor del Numero de Grashof para el Aire que Fluye por el intercambiador.

$$Pr = \frac{C_p \mu}{K} = 0,73$$

Ecuación 26. Calculo del Numero de Prandtl

$$Ra_L = Gr \cdot Pr = 1,81 \cdot 10^{10}$$

Ecuación 27. Calculo del Numero de Rayleigh

$$Nu = f(Pr, Gr)$$

Ecuación 28. Numero de Nusselt

Para la estimación del coeficiente convectivo, debido a la transferencia térmica entre el conducto y el aire que asciende por su interior, se requiere que las dimensiones del conducto tengan un coeficiente geométrico H/D mayor que $Ra_H^{0,25}$. La transferencia de calor en el interior será calculada suponiendo que la convección es natural y turbulenta placas de pared vertical, como se muestra en la Ilustración 24.

Para espacios confinados, en los que el fluido sometido a convección circula entre placas verticales de altura L , el efecto térmico se puede expresar como un simple cambio en la conductividad térmica del fluido. Cuando $Pr < 10^3$, $H/L < 10$, $10^3 < Ra < 10^6$ el flujo en el centro se vuelve turbulento y el coeficiente h_i se obtiene a partir del *Nusselt* dado por la correlación de un flujo en una cavidad vertical con diferentes temperaturas en las paredes laterales, como se expresa en la Ecuación 29.

$$\overline{Nu}_L = 0,22 \left(\frac{Pr}{0,2 + Pr} \cdot Ra_L \right)^{0,28} \cdot \left(\frac{H}{L} \right)^{-0,25} = 301,6$$

Ecuación 29. Correlación de Nusselt para cavidad vertical con diferentes temperaturas en paredes laterales

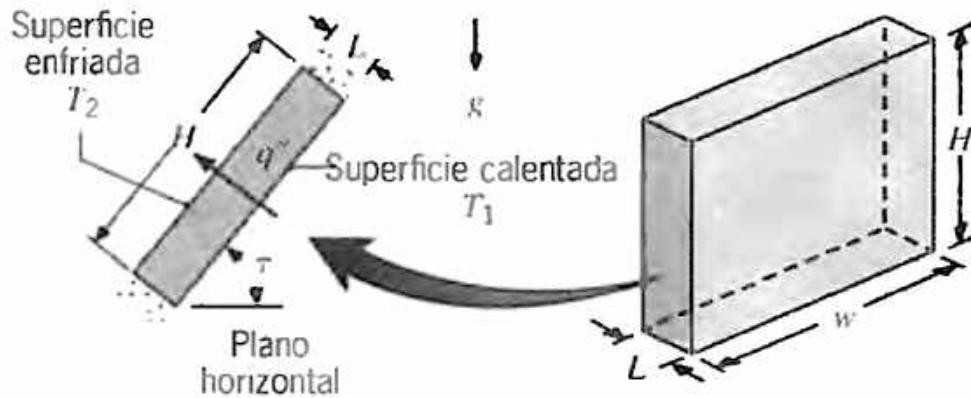


Ilustración 24. Parámetros de referencia, flujo entre placas.

La correlación a utilizar depende de los rangos que tomen los parámetros involucrados, en el caso del intercambiador se simplifica el recorrido que debe realizar el fluido con una trayectoria lineal vertical de 1,5m y diámetro interno es de 0,1 metro representado por el coeficiente L en la Ecuación 30 y Ecuación 31.

$$Nu_m = \frac{h_m L}{K} \rightarrow$$

Ecuación 30. Número de Nusselt en función del convectivo

$$h_1 = \frac{Nu_m K}{L} = 5,13 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Ecuación 31. Número de Nusselt para en Caso de Estudio

13.1. Calculo del convectivo externo del aire en convección libre

Se continua con el análisis de flujo de aire externo a la cámara de combustión y al intercambiador de calor. Se aproxima el calculo del Numero de *Nusselt* para la superficie de la cámara de combustión utilizando la correlación diseñada para una placa vertical. Esta correlación fue desarrollada por S. W. Churchill y H.S. Chu, para aplicarse sobre todo el intervalo de valores del numero de *Rayleigh* (Churchil & Chu, 1975).

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

Parámetros para el Calculo del Convectivo del Aire Externo a la Cámara de Combustión

Parámetro	Fórmula	Valores
Temperatura Media	$T_m = \frac{200^{\circ}\text{C} + 10^{\circ}\text{C}}{2}$	105 °C
Diferencia de Temperatura	$\Delta T = 200^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}$	190°C
Conductividad térmica del aire	K	0,03095 W/m.K
Viscosidad Cinemática	ν	0,00002306 m ² /s
Difusividad Térmica	α	0,00003243 m ² /s
Calor específico	C_p	1009 J/kg °C
Prandtl	$Pr = \frac{C_p \mu}{K}$	0,7111
Coefficiente de dilatación volumétrica	$\beta = \frac{1}{T_m}$	0,0025 1/K
Nº de Rayleigh	$Ra = \frac{L^3 \beta g (T_w - T_{\infty})}{\nu \cdot \alpha}$	7841239159,72
Nº de Nusselt	$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot Ra_L^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$	233,69
Coefficiente Convectivo	$h_2 = \frac{Nu_L \cdot K}{L}$	6,70 W/m ² .K

Tabla 9. Parámetros para el Calculo del Convectivo del Aire Externo a la Cámara de Combustión

En la Tabla 9 se detalla el valor parámetros involucrados en el calculo del convectivo. Al pie de la tabla se obtiene el resultado del coeficiente pelicular del flujo de aire externo a la cámara de combustión que entra también en contacto con la superficie envolvente menor del intercambiador de calor.

Deforma análoga se calcula el convectivo para el exterior del intercambiador de calor como se detalla a continuación en la Tabla 10.

Parámetros para el Calculo del Convectivo del Aire Externo al Intercambiador de Calor

Parámetro	Fórmula	Unidad
Temperatura Media	$T_m = \frac{16^{\circ}C + 10^{\circ}C}{2}$	13 °C
Diferencia de Temperatura	$\Delta T = 16^{\circ}C - 10^{\circ}C$	6°C
Conductividad térmica del aire	K	0,03095W/m.K
Viscosidad Cinemática	ν	0,0000147m ² /s
Difusividad Térmica	α	0,00002009 m ² /s
Calor específico	C_p	1007 J/kg °C
Prandtl	$Pr = \frac{C_p \mu}{K}$	0,7323
Coefficiente de dilatación volumétrica	$\beta = \frac{1}{T_m}$	0,0035 1/K
Nº de Rayleigh	$Ra = \frac{L^3 \beta g (T_w - T_{\infty})}{\nu \cdot \alpha}$	876971112,51
Nº de Nusselt	$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot Ra_L^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$	118,49
Coefficiente Convectivo	$h_3 = \frac{Nu_L \cdot K}{L}$	3,40 W/m ² .K

Tabla 10. Parámetros para el Calculo del Convectivo del Aire Externo al Intercambiador de Calor

13.2. Resistencia térmica y transferencia de calor.

Utilizando la misma lógica con que se aplica en los principios de la carga eléctrica se puede interpretar el fenómeno de ocurrencia de la difusión de calor. De esta forma se asocia una resistencia eléctrica con la conducción de electricidad, y se puede vincular la resistencia térmica con la conducción de calor. El razonamiento para definir la ecuación de estas resistencias térmicas es análogo a la ley de Ohm, Ecuación 32. Con este lineamiento se plantea la formula para la resistencia térmica para los casos de conducción y convección en las Ecuación 33 y Ecuación 34 respectivamente.

$$R = \frac{V}{I}$$

Ecuación 32. Ley de Ohm

$$R_{cond} = \frac{L}{k \cdot A}$$

Ecuación 33. Resistencia térmica conducción

$$R_{conv} = \frac{1}{h \cdot A}$$

Ecuación 34. Resistencia térmica convección

Teniendo el valor de los convectivos correspondiente a cada zona del volumen de análisis y la geometría del diseño, que se resume en la Ilustración 22 se procede a plantear los cálculos de las resistencias térmicas.

Parámetros del calculo de la resistencia total del sistema de intercambio entre la de estufa y el intercambiador			
Parámetro	Fórmula	Valor	Unidad
R0	$1/(A1 \cdot h2)$	2,0833	C°/W
R1	$e/A1 \cdot K$	0,0003	C°/W
R2	$e/A2 \cdot K$	0,0002	C°/W
R3	$1/A1 \cdot h1$	2,7104	C°/W
R4	$L/A3 \cdot K$	0,1991	C°/W
R5	$1/A2 \cdot h3$	3,0427	C°/W
R tot	$R0 + R1 + \frac{R3 \cdot R4}{R3 + R4} + R2 + R5$	5,3120	C°/W

Tabla 11. Parámetros del calculo de la resistencia total del sistema de intercambio entre la de estufa y el intercambiador

Luego de calcular la resistencia térmica total del sistema se considera este valor en el calculo de la transferencia de calor, mediante la Ecuación 35.

$$q = \frac{T_1 - T_2}{R_{tot}} = 36 \text{ W}$$

Ecuación 35. Transferencia de calor

El valor de la Ecuación 35, se obtiene entonces considerando la resistencia térmica que se imponen en las distintas áreas del sistema, este es el calor necesario para lograr la diferencia de temperatura con la superficie exterior del intercambiador.

Para comprobar si el calor entregado por la estufa satisface esta necesidad operativa se compara el valor obtenido en la Ecuación 35 con el calor teórico entregado a partir de la combustión de la madera, considerando el porcentaje de energía que se libera específicamente en la cámara de combustión y sobre el intercambiador de calor.

El calor liberado como producto de la reacción de combustión se calcula en función de la masa del combustible, M_c , del poder calorífico inferior del mismo, P_{ci} , y del porcentaje que es liberado sobre la superficie del intercambiador de calor.

El poder calorífico inferior es refiere a la cantidad de calor liberado en la combustión completa de una unidad de masa de combustible, sin considerar la energía utilizada en cambiar de fase o calor latente al transformar la humedad contenida en el combustible en vapor de agua. Ecuación 36

$$q_{comb} = M_c \cdot P_{ci} \cdot r$$

Ecuación 36. Calor liberado por la combustión

Como se detallo en la unidad 6.2 el consumo regular de leña dependerá de si es leña blanda o dura. En los alrededores de la zona de construcción de la estufa la población arbórea principalmente disponible son especies de leña blanda, y dado que la estufa se alimentara en mayor medida con ramas entonces el calculo se hace en base a maderas blandas como se enlistan en la Tabla 12 , los Siempreverde y Eucaliptus son los mas comunes con un PCI menor al de una madera dura y densa como lo es el Quebracho.

Especie	PCI	Unidad
Siempreverde	17782	KJ/Kg
Eucaliptus	19228	KJ/Kg
Álamo	18400	KJ/Kg
Pino	18568	KJ/Kg
Quebracho	20900	KJ/Kg

Tabla 12. Poder Calorífico Inferior (PCI) de Variedades de Madera

Respecto al porcentaje de exposición al calor generado por la estufa en la zona del intercambiador, se debe tener en cuenta que como máximo el 50% es liberado en la de la cámara de combustión secundaria, donde esta instalado el intercambiador de calor. Además hay que considerar que el intercambiador de calor solo cubre un 35% de la superficie de la cámara de combustión. Para el calculo se considero la peor condición, se considera la menor cantidad de carga y la madera con menor poder calorífico.

Teniendo en cuenta estos limitantes se obtiene el calor entregado por la combustión completa de la leña en la Ecuación 37, comparable con la Ecuación 35.

$$q_{comb} = 43 W$$

Ecuación 37. Resultado del calor liberado por combustión completa

El calor obtenido por la combustión de la madera es superior al mínimo necesario para alcanzar las temperaturas planteadas, aunque los valores de la Ecuación 37 y Ecuación 35 son similares la diferencia varia mucho en función de la cantidad y del tipo de combustible utilizado, dado que la temperatura de la cámara de combustión varia rápidamente en función de cantidad de llama que se genere.

En el Gráfico 8 se aprecia la sensibilidad térmica que tiene la cámara de combustión ante la carga de leña, las cargas de madera fueron a las 14:11, a las 14:27 y a las 14:53 se aprecia que en eso puntos la pendiente térmica se vuelve a tornar positiva.

Para determinar la temperatura a la que sale el aire del intercambiador de calor se realiza una aproximación de la velocidad de entrada del aire frio al mismo para determinar la el caudal másico disponible y luego ese valor se comparara con el obtenido por la teoría de chimeneas, Ecuación 19, para corroborar la validez de la misma antes estas condiciones de análisis.

Con ayuda de herramientas audiovisuales de alta definición se logra capturar la trayectoria realizada por una partícula incandescente y por una estela de humo a la entrada de la boca de aire del intercambiador. También que se registro la trayectoria realizada por ambos elementos y el tiempo que duro el recorrido de ambos.

Se realizo este experimento para definir la velocidad de entrada de aire y tiraje en la entrada del intercambiador de calor luego de una hora encendida la estufa, la captura se realizo con una cámara de alta calidad de 40 cuadros por segundo logrando capturar en 2 cuadros consecutivos que muestran el inicio y el final de la trayectoria de la partícula de ceniza incandescente, y la trayectoria del humo solo en un cuadro, lo que da a entender una diferencia e densidades.

La velocidad definida luego de esta captura se detalle en la Ecuación 38, donde los parámetros involucrados son el tiempo del recorrido de estela de humo. No se considero la partícula dado que la velocidad del humo fue mayor y el fin es el de dimensionar considerando el peor escenario. A partir del este análisis, en la Ecuación 39 se calcula el caudal másico disponible en el sistema.

$$v_0 = \frac{0,03m}{0,025 s} = 1,2 \frac{m}{s}$$

Ecuación 38. Velocidad inicial del flujo de aire en el intercambiador

$$\dot{m} = v_0 \cdot \rho \cdot A = 1,2 \frac{m}{s} \cdot 1,25 \frac{Kg}{m^3} \cdot 0,0098 m^2 = 0,015 \frac{Kg}{s}$$

Ecuación 39. Velocidad inicial del flujo de aire en el intercambiador

Teniendo el caudal se pueden relacionar las ecuaciones Ecuación 36 y con la Ecuación 40 para hallar la temperatura con la que sale el aire luego del paso por el intercambiador.

$$q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Ecuación 40. Calor transferido

$$T_f = 32,4^\circ C$$

Ecuación 41. Temperatura a la que sale el aire del intercambiador

En la practica la temperatura que se midió con termómetro a la salida del intercambiador fue de 26°C luego de 50 minutos encendida la estufa estando con una temperatura ambiente de 12°C.

Al comparar el caudal másico obtenido mediante la teoría de chimeneas con el hallado experimentalmente, se define que la primera no muestra una representación optima del estudio del intercambiado dado que el error fue del 50%.

13.2.1. *Perdidas de carga*

El método de pérdida de carga unitaria constante se trata de uno de los más sencillos para calcular perdidas en conductos con presiones inferiores a los 70Pa, velocidad de circulación inferior a los 17m/s y pérdidas de carga menor que 1Pa/m.

Cuando una corriente de aire fluye por un conducto esta pierde parte de su energía por el rozamiento con las paredes y con las mismas capas de flujo, esta pérdida se corresponde con una disminución de la presión estática entre el inicio y el final del conducto y se denomina pérdida de carga primaria. Cuando una corriente de aire fluye a través de un accesorio, cómo puede ser un codo, se produce una pérdida de carga secundaria. A fin de simplificar los cálculos las pérdidas de cargas secundarias se traducen a longitudes equivalentes de pérdidas de carga primaria, esas longitudes se suman a la longitud real del conducto y finalmente la cual se conoce como longitud equivalente.

El cociente entre la pérdida de carga total y la longitud equivalente del conducto determina la pérdida de carga unitaria, o lo que es lo mismo, la pérdida de carga por

unidad de longitud equivalente del conducto. la pérdida de carga unitaria suele medirse en Pa/m .

Este método consiste en calcular la sección de los diferentes tramos de conducto de forma que la pérdida de carga unitaria sea constante a lo largo de todo el conducto.

En el Gráfico 11 se encuentra el ábaco que permite hallar el valor de las pérdidas de carga.

Dado que para ambos casos caemos afuera del grafico se considera que ambas pérdidas son despreciables.

Factor		Valor	Unidad
m	Caudal	42	m^3/h
D	Diámetro	100	mm
$L_{eq,i}$	Longitud equivalente intercambiador	1,5	m
$L_{eq,c}$	Longitud equivalente conducto de transporte	6	m
Δp_i	Pérdida de carga en intercambiador	<0,3	Pa/m
Δp_c	Pérdida de carga en conducto de transporte	<0,5	Pa/m

Tabla 13. Resumen de cálculos de pérdida de carga en el sistema intercambiador-conductos de transporte

13.3. Aislación

A la salida del intercambiador de calor el aire sale a una temperatura superior respecto de la que ingreso al mismo, para transportarlo a lo largo de una cañería hasta la habitación que se desea climatizar se deben considerar la necesidad de colocar o no aislación térmica.

Para transportar fluidos calientes se debe tener en cuenta las pérdidas de temperatura que sufren el fluido en el recorrido, considerando que a lo largo del conducto el fluido caliente continúa transfiriendo calor con el medio. El objetivo de esta unidad es determinar la necesidad de colocación de aislación térmica y las características que deberá cumplir la misma. Para esto se compararan las temperatura a las que llega el fluido con y sin aislación térmica alrededor del conducto.

Se debe definir además el tipo de material que se utilizará para la aislación dado que cada uno tiene un coeficiente de conductividad característico.

El elemento más utilizado para el aislación de cañerías es la lana de vidrio, dada la permanente disponibilidad en el mercado, el precio por metro cuadrado y la simple colocación. En la Tabla 14 se observan las características de este material aislante.

Para el cálculo de aislación y pérdida de temperatura a lo largo del conductor se aplican las ecuaciones de transferencia de energía y el principio de resistencia térmica, considerando el flujo caliente por el interior del conducto metálico, las características térmicas del propio conducto metálico, el aislante y la exposición al ambiente de todo el conjunto.

Material	Cantidad	Precio	Conductividad térmica
Lana de vidrio	$6m \times 0,4m = 2,4m^2$	2 U\$S x m^2	0,035 $W/m^{\circ}C$

Tabla 14. Datos técnicos de material aislante

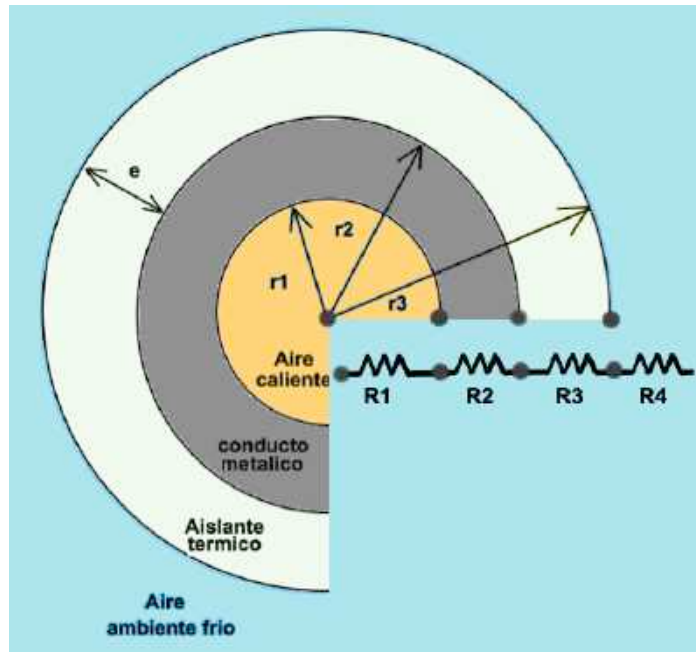


Ilustración 25. Conducto de transporte del aire caliente. Aplicación de método de resistencias térmicas.

Se calcula la transferencia de calor que sucederá entre el fluido caliente y el medio circundante sin considerar aislación térmica, a fin de determinar el impacto en la peor condición. Utilizando los parámetros detallados en la Tabla 15 se calculan las correspondientes resistencias térmicas.

Una vez hallada la resistencia total del sistema se calcula su relación con la diferencia de temperatura existente entre el fluido interno a la salida del intercambiador y la temperatura ambiente. Finalmente vinculando esta relación con el caudal másico disponible y el calor específico del aire se obtiene la temperatura a la que llegaría el aire al final de la cañería, este valor se detalla al pie de la Tabla 16.

Parámetro	Descripción	Valor	Unidad
L	Long. Del conducto	6	m
D	Diam. Del conducto	0,114	m
r1	Radio interno conducto	0,05665	m
r2	Radio externo conducto	0,05715	m
e2	Espesor pared conducto	0,0005	m
K_{cond}	Conductividad de conducto. Chapa Galvanizada	46,5	W/ m °C
h_{int}	Convectivo interno	5,13	W/ m ² °C
h_{ext}	Convectivo externo	3,40	W/ m ² °C

Tabla 15. Parámetros para el cálculo de la temperatura final del aire sin aislación

Parámetro	Fórmula	Valor	Unidad
R ₁	$\frac{1}{h_{int} \cdot 2 \cdot r_1 \cdot L \cdot \pi}$	0,0913	C°/W
R ₂	$\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{K_{cond} \cdot 2 \cdot L \cdot \pi}$	0,000005	C°/W
R ₃		-	-
R ₄	$\frac{1}{h_{ext} \cdot 2 \cdot r_2 \cdot L \cdot \pi}$	0,1367	C°/W
R _T	R ₁ +R ₂ +R ₄	0,2279	C°/W
T _f		32,35	°C
T _i		10	°C
$\frac{\Delta T_2}{R_T}$	$\frac{T_f - T_i}{R_T}$	98,07	W
T _{salida}	$T_f - \frac{\Delta T_2}{R_T \cdot \dot{m} \cdot C_p}$	25,75	°C

Tabla 16. Parámetros del calculo la temperatura a la que llega el aire a la habitacion sin aislar la cañeria

Al aplicar las ecuaciones análogas al caso anterior pero considerando ahora un espesor estándar de lana de vidrio a modo de aislante térmico se determina la nueva resistencia térmica total del sistema, esta es mayor a la del caso anterior, lo que significa que el sistema opondrá una resistencia a la transferencia térmica superior cuando el conducto esta aislado. relacionando estos valores con el caudal másico del sistema se encuentra una temperatura de salida del aire es superior al caso anterior, esta se expone al final de la Tabla 18.

En función a la diferencia de temperaturas con la que llega el aire al final del conducto en los dos casos estudiado, con y sin aislación térmica, se define la necesidad de de colocación de aislante dado que la diferencia ronda los 5°C, pérdida termica de importancia en cuanto a los rangos de temperaturas usuales en la climatización ambiente. Para los cálculos se utilizó un valor de espesor de capa de aislante de 5 mm dado que este es el espesor estándar, un espesor menor no justifica la instalación.

Parámetro	Descripción	Valor	Unidad
L	Long. Del conducto	6	m
D	Diam. Del conducto	0,114	m
r1	Radio interno conducto	0,05665	m
r2	Radio hasta exterior conducto	0,05715	m
r3	Radio hasta exterior aislante	0,10715	m
e2	Espesor pared conducto	0,0005	m
e3	Espesor del aislante	0,05	m
K _{cond}	Conductividad de conducto. Chapa Galvanizada	46,5	W/ m °C
K _{ais}	Conductividad Aislante	0,035	W/ m °C
h _{int}	Convectivo interno	5,13	W/ m ² °C
h _{ext}	Convectivo externo	3,40	W/ m ² °C

Tabla 17. Parámetros para el calculo de la temperatura final del aire con aislación

Parámetro	Formula	Valor	Unidad
R ₁	$\frac{1}{h_{int} \cdot 2 \cdot r_1 \cdot L \cdot \pi}$	0,0913	C°/W
R ₂	$\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{K_{cond} \cdot 2 \cdot L \cdot \pi}$	0,000005	C°/W
R ₃	$\frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{K_{ais} \cdot 2 \cdot L \cdot \pi} +$	0,4764	C°/W
R ₄	$\frac{1}{h_{ext} \cdot 2 \cdot r_3 \cdot L \cdot \pi}$	0,07291	C°/W
R _T	R ₁ +R ₂ + R ₃ +R ₄	0,6406	C°/W
T _f	Temp. final	32,35	°C
T _i	Temp. inicial	10	°C
ΔT ₂ /R _T	$\frac{T_f - T_i}{R_T}$	34,9035	W
T _{salida}	$T_f - \frac{\Delta T_2}{R_T \cdot \dot{m} \cdot Cp}$	30,00	°C

Tabla 18 Parámetros del calculo la temperatura a la que llega el aire a la habitacion con aislación en la cañeria

14. Tecnología de fabricación

14.1. Materiales y equipamiento

Es esencial seleccionar el material adecuado a utilizarse en el intercambiador de calor para lograr la prestación necesaria. Para seleccionar el material se deben tener en cuenta tanto datos técnicos como logísticos, es decir, asegurar las temperaturas que resiste el material, la resistencia mecánica y considerar los costos del material y su disponibilidad en el mercado, además también se deben prever las técnicas constructivas que se aplicaran sobre el material, es decir, la soldabilidad, la capacidad de rolado y de resistencia al corte laser. En función a estos parámetros se considera que el acero al carbono de venta comercial es la opción que mas se adecua a las necesidades y requisitos del proceso.

El contenido de carbono de los aceros es menor al 2,1%, dado que, si es mayor recibe el nombre de fundición, la forma más simple y económica de controlar las propiedades del acero es mediante una selección del contenido de carbono apropiada. En función al aumento del porcentaje de carbono la dureza también aumenta debido a la aparición de microconstituyente duros como perlita y cementita.

La ductilidad cae aproximadamente en forma lineal a medida que aumenta el porcentaje de carbono, con la resistencia sucede algo similar, aumenta de forma aproximadamente lineal hasta el un 0,8% de carbono, luego de este valor comienza a caer por que la estructura se fragiliza.

Como se menciona anteriormente la temperatura de servicio es muy importante, pero en el caso de estudio la temperatura de exposición es menor a 350°C por lo tanto no es un parámetro crítico en la selección del tipo de acero.

El acero al carbono comercial contiene elementos químicos en su composición provenientes de distintas fuentes:

- Se adicionan intencionalmente para facilitar la desoxidación, refinamiento de grano y mejora de la resistencia, ductilidad, tenacidad y trabajado en caliente.
- Impurezas naturales originadas a partir de las materias primas
- Elementos residuales provenientes de la chatarra, generalmente son perjudiciales durante el procesamiento y afecta negativamente las propiedades mecánicas.

La norma I.R.A.M. clasifica los aceros según sea el uso final que se le vaya a dar. Los aceros estructurales tienen en general menos del 0.3 % de carbono y no se tratan térmicamente. Su resistencia varía entre 350 MPa y 500 MPa.

En general los aceros estructurales son aptos para soldaduras tradicionales de fusión sin tomar precauciones especiales siempre que se cumpla:

- Carbono equivalente menor o igual que 0.55%
- Contenidos de impurezas leves
- Espesor menor a 25 mm.

Los aceros estructurales en el mercado se encuentran disponibles en diferentes calidades:

- NAVAL GRADO A
- ASTM A-3
- ASTM A- 572 GR50
- ASTM A-516 GR70
- SAE 1045

Para la fabricación del intercambiador de calor se utilizó acero SAE 1045, chapa lisa de 1 milímetro de espesor. (Metalurgia Aplicada y Materiales, 2016)

14.2. Pantógrafo

La pantografía es la actividad del corte, copia y grabado de una superficie a diferentes escalas. Los pantógrafos son equipos de corte que logran sus movimientos a través de ejes cartesianos articulados y según sea el tipo material a trabajar, la profundidad requerida, y el espesor del material se tiene la versatilidad de ejecutar el corte con una antorcha por plasma o por oxicorte. Hay distintos tipos de pantógrafos según la modalidad de aplicación;

- Manuales: En la actualidad son utilizados únicamente para imprimir
- Infográficos: Trabajan sobre superficies planas y realizan los cortes con cuchillas
- 3D: Tienen mayor capacidad de reproducción y de volumen de trabajo gracias a su desarrollo informático
- CNC: Se operan con comandos programados, actualmente son de los más utilizados.

El plasma ofrece varios beneficios claves comparados con el oxicorte que aumentan significativamente la productividad.

- Mayor velocidad de corte. El plasma corta siete veces más rápido, sin considerar el tiempo de precalentamiento requerido por el oxicorte. Aunque se usen múltiples antorchas de oxicorte una sola antorcha de plasma se consigue cortar un volumen de piezas mayor. Cuando se corta acero al carbono de 12 mm de espesor la velocidad de corte de la antorcha de oxicorte es de 30 metros por hora mientras que una antorcha por plasma consigue una velocidad de 231 metros por hora para el mismo espesor.
- No requiere tiempo para precalentar
- Mejor calidad de corte, elimina operaciones secundarias costosas y desperdicio de materiales. El oxicorte deja escoria o salpicaduras que luego requiere limpieza y amolado de la pieza.
- Zona afectada por el calor pequeña. El oxicorte genera una gran zona afectada por el calor causando cambios estructurales en el metal y volviéndolo más frágil, con el corte por plasma la zona afectada por el calor es muy pequeña.
- El plasma también es excelente en el corte de metales delgados contrariamente al oxicorte, dado que las planchuelas finas se tuercen y doblan rápidamente por el intenso calor
- Versatilidad de corte en acero al carbono, acero inoxidable y aluminio en amplios rangos de espesor
- El plasma realiza cortes más finos y estrechos, lo que permite cortar más piezas por lámina, es decir costos más bajos y menos desperdicio. (Hypertherm, 2015)

El equipo utiliza un software capaz de transferir un patrón de diseño a una superficie, el diseño se puede dibujar en varias aplicaciones, la más utilizada es AutoCAD, este patrón se descarga sencillamente en el equipo a través de una memoria USB.

El trabajo de corte se realiza en una mesa de apoyo donde se colocan las placas de material. Las mesas de apoyo tienen dimensiones variadas pero las estándar de tamaño industrial tienen medidas aproximadas a los 3 metros de largo por 1,5 metros de ancho.

El brazo móvil que porta la antorcha, recorre las placas guiándose con el patrón y aplicándoles calor de manera localizada, haciendo que el material llegue a alcanzar los 30.000°C. El equipo utiliza un gas que se ioniza y se convierte en plasma y mediante un arco eléctrico muy pequeño, concentra gran cantidad de energía en la boquilla portadora del electrodo lo que se traduce como calor altamente concentrado en la zona del corte.

Básicamente el corte se produce cuando el gas caliente ionizado entra en contacto con la superficie, penetrando y fundiendo el material.

El corte por plasma emite radiación ultravioleta siendo necesario llevar a cabo la actividad con protección para los ojos. (Tecnología en Soldadura, 2019)

Considerando el tamaño de las planchas de acero de uso comercial 2000 mm de alto por 1000 mm de ancho se definen los cortes que serán necesarios para todas las piezas del intercambiador.

En la Ilustración 26 se muestra la distribución y la proporción del tamaño de las chapas vírgenes comerciales respecto a los cortes que serán necesarios hacer con el pantógrafo. Acomodando estos cortes de forma de maximizar la productividad y reducir el desperdicio se observa que para lograr un intercambiador de calor serán necesarias tres unidades de chapas.

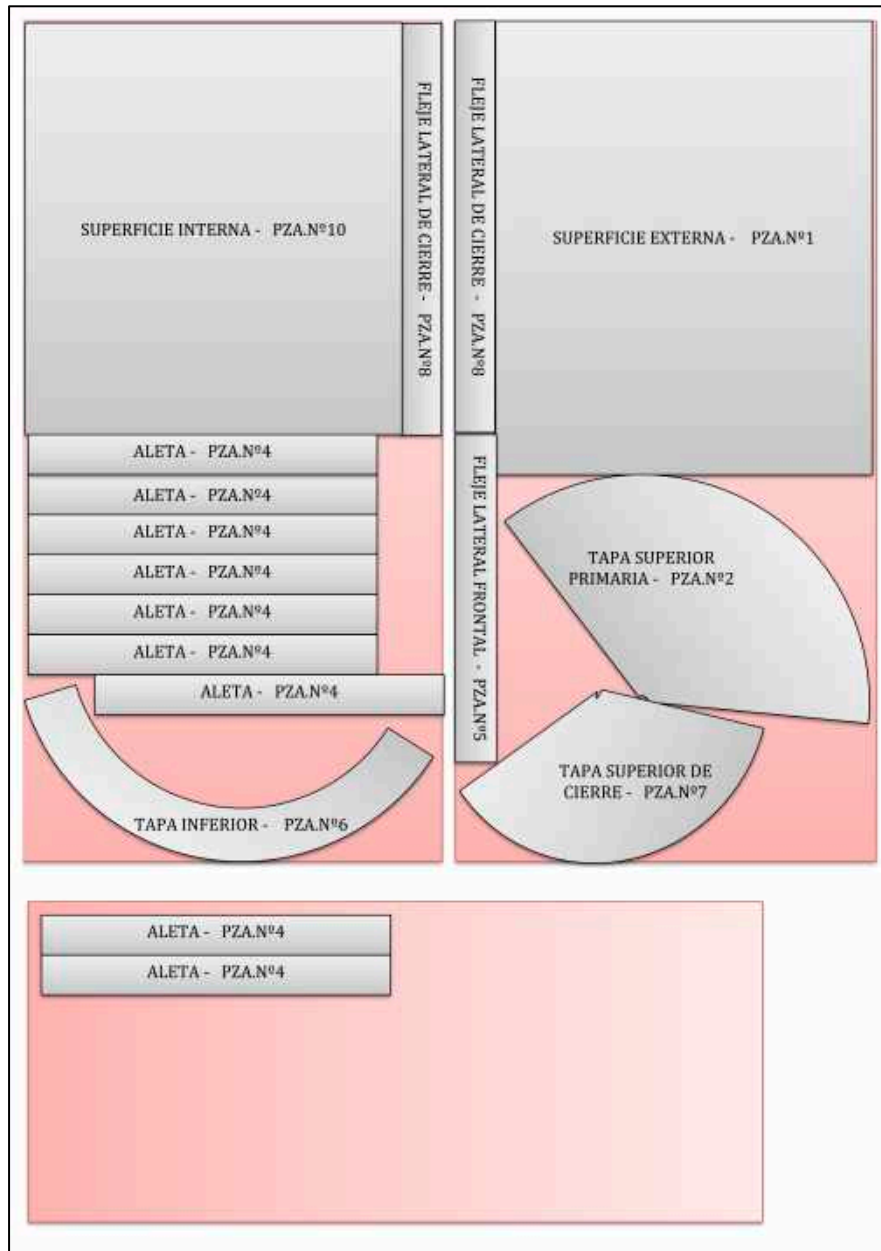


Ilustración 26. Croquis en Chapa de Acero de los Cortes de Piezas con Pantografo

14.3. Rolado

Las roladoras están diseñadas para deformar plásticamente chapa metálica plana con ángulos de curvatura hasta 360° dependiendo de las limitaciones del equipo en particular. Actualmente existen sistemas que permiten ajustar de forma precisa la tensión en los rodillos.

Estos equipos cuenta con un rodillo superior fijo y dos rodillos inferiores independientemente ajustable que permiten el emboque y conformado de la chapa.

En la operación de rolado inicialmente se debe embocar la chapa corrigiendo la altura de uno de los rodillos inferiores para que la misma pueda ingresar y luego quede mordida entre el rodillo inferior opuesto y el rodillo superior. La secuencia se aprecia en la Ilustración 27.

Luego la chapa finalmente quedara abrazada entre el rodillo superior apoyada en los rodillos inferiores que deberán luego quedar nivelados.

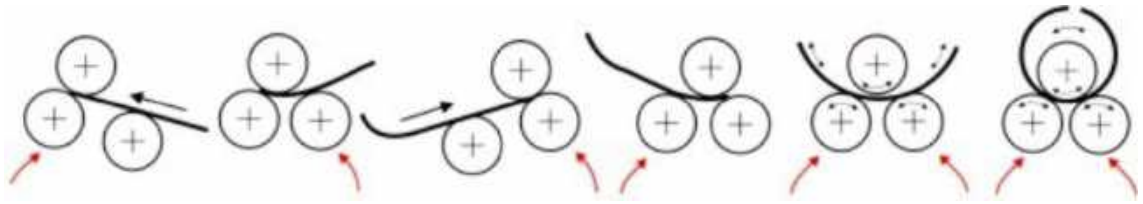


Ilustración 27. Secuencia de emboque de chapa en Roladora

El equipo es accionado de forma electro-mecánica mediante una caja de engranajes con manipulación hidráulica para el movimiento de los rodillos. En algunos equipos también se pueden fabricar conos mediante la inclinación de los rodillos inferiores.

Las limitaciones de estas maquinas se basan principalmente en la imposibilidad de rolar chapas de paredes muy gruesas y diámetros muy pequeños, la relación general que existe para estos equipos en función del espesor y diámetros de mecanizado se ven en la Ilustración 28. (Manek, 2018)

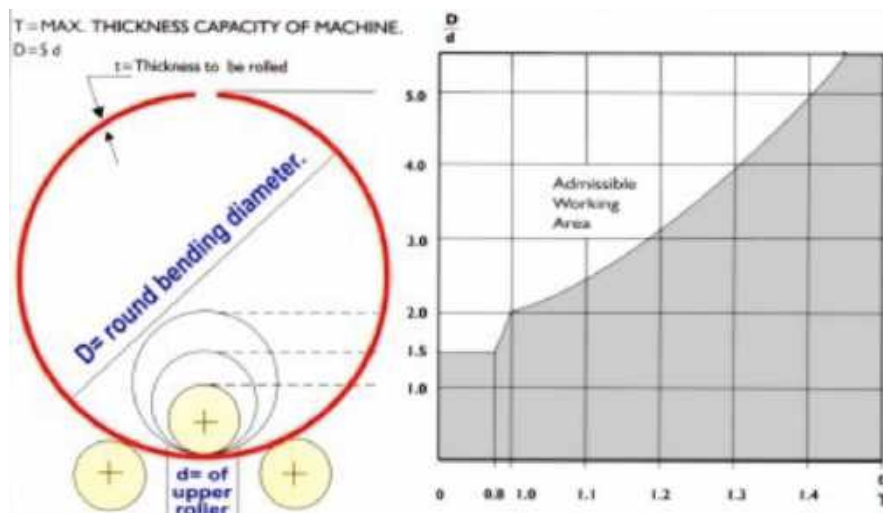


Ilustración 28. Variación en el Espesor de la chapa según el Diámetro de rodado

En las piezas del intercambiador de calor solo dos requieren la operación de rolado, la superficie interior que tendrá contacto con la cámara de combustión de la estufa y la superficie exterior que envuelve las aletas.

Se aprecia en la Ilustración 37 del Anexo la vista explotada de las piezas del intercambiador. Son la pieza numero 10 y la pieza numero 1 que necesita la operación de rolado. En la Ilustración 36 del Anexo se encuentran detallados los parámetros de rolado para ambas piezas, y se encuentran resumidos en la Tabla 19.

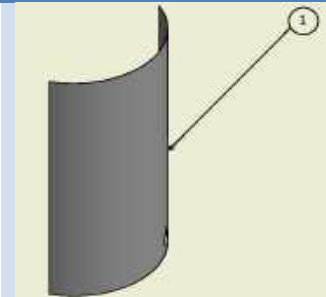
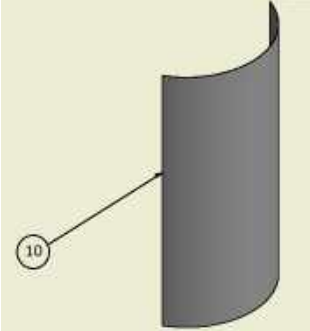
IMAGEN	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
	1	Superficie rolada exterior: Radio = 395 mm Angulo= 130° Espesor =1,2mm Altura= 1080 mm
	10	Superficie rolada interior: Radio = 292,5 mm Angulo= 130° Espesor =1,2mm Altura= 980mm

Tabla 19. Parámetros de rolado de piezas

14.4. Soldadura

Las piezas que fueron cortadas por el pantógrafo y roladas luego deberán ser unidas para el armado del intercambiador. El método de unión correspondiente es mediante soldadura. Se denomina soldadura es la unión de dos o más piezas metálicas con o sin material de aporte, la unión se puede lograr mediante la aplicación de presión o calentando los materiales con o sin aplicación de presión.

El material base son las piezas a unir y el material de aporte es con el que se suelda. La soldadura está fuertemente relacionada con la actividad industrial, además de ser una importante industria en sí misma gracias al desarrollo de nuevas técnicas.

El tipo de soldadura correcto para unir dos piezas de metal dependerá de las propiedades de los metales a unir, resistencia a soportar y equipamiento disponible.

Existen diversos procesos de soldadura que difieren en el modo en el que se aplica la energía para la unión, algunos de los mas utilizados en la industria y que son compatible con el proceso de fabricación necesario para el intercambiador de calor son:

- GMAW y GTAW
- Soldadura por arco eléctrico

14.4.1. *GMAW y GTAW*

El proceso GMAW que sus siglas en inglés significan Gas Metal Arc Welding es un proceso de soldadura por arco que utiliza gas protector y requiere un electrodo consumible.

El gas que se utiliza puede ser activo (MAG) o pasivo (MIG). Un gas pasivo, generalmente argón o helio, únicamente cumple la función de campana de protección para la soldadura de la exposición al ambiente. El gas activo, anhídrido carbónico o también se puede utilizar una mezcla de argón con anhídrido carbónico, tiene mayor

participación en el proceso de soldadura ya que aporta los componentes necesarios para la formación del cordón de soldadura necesario.

Esta tecnología de soldadura permite soldar acero al carbono, acero inoxidable y aluminio entre otros.

El proceso MIG deposita material de aporte en forma continua y depende de intervención por parte del gas, ese gas protege la soldadura del aire y sus componentes ayudan a la desoxidación y estabilidad del arco. Entre el material de aporte y la pieza de trabajo se establece un arco eléctrico y se forma un cordón de soldadura que al enfriarse se solidifica y permite la unión de los metales en forma permanente.

El suministro de electrodo o microalambre se hace a través de una antorcha con un sistema electromecánico de alimentación constante. El proceso MIG se caracteriza por tener permitir la posibilidad de hacer cordones de soldadura constantes. Es un proceso ideal para alta productividad, calidad del acabado, máximo aprovechamiento de la soldadura y nivel moderador de experiencia del soldador.

El equipo utilizado en el proceso MIG consiste en una fuente de voltaje constante, alimentador de electrodo, tubo de gas de protección, regulador de caudal, material de aporte, antorcha para soldadura MIG y un cable masa.

En el caso de la soldadura MAG a lo detallado anteriormente se suma que el gas utilizado interviene también activamente en el proceso de formación del cordón de soldadura. Cuando el gas es anhídrido carbónico, se consiguen penetraciones más profundas y anchas en el fondo del cordón mejorando el contorno del mismo, reduciendo el riesgo de falta de fusión. El inconveniente que tiene aparejado el uso de este gas es que produce arcos fuertes provocando proyecciones de material.

Una mezcla comúnmente utilizada es la de Argón (generalmente un 20%) con anhídrido carbónico. Los arcos obtenidos son suave, el baño de fusión alcanza menores temperaturas, el cordón adquiere un mejor aspecto y se logra una mayor estabilidad del arco.

El proceso GTAW cuyas siglas en inglés significan Gas Tungsten Arc Welding o también conocido como soldaduras TIG (Tungsten Inert Gas) utiliza gas inerte que aísla el material fundido de la atmósfera exterior evitando así su contaminación.

El arco eléctrico se establece entre el electrodo de tungsteno no consumible y la pieza. Se utiliza un electrodo de tungsteno dado que su temperatura de fusión supera los 4000°C. El gas inerte envuelve también al electrodo evitando posible oxidación. Con este sistema se puede soldar con y sin aporte de material.

Cuando se utilice material de aporte para la soldadura, éste debe ser similar al material base. La ventaja de este sistema es que no se generan escorias dado que no se utilizan electrodos revestidos.

14.4.2. Soldadura por arco eléctrico

Otro proceso de soldadura es mediante arco eléctrico con electrodo consumible.

Este proceso de soldadura produce la coalescencia de los metales. Se utiliza en general para espesores mayores a 1mm y se usa para soldar materiales ferrosos y no ferrosos, es principalmente aplicable en aceros.

El electrodo consumible está compuesto por un núcleo y por un revestimiento. El electrodo se compone por un centro metálico que conduce la corriente eléctrica para el arco y aporta material para el cordón de soldadura. El revestimiento del electrodo está compuesto por distintos elementos que protegen la piqueta fundida y el metal de aporte de la influencia de la atmósfera circundante, además ioniza el arco eléctrico y lo mantiene

estable. Los electrodos para soldadura deben seleccionarse de acuerdo con la composición del metal que se desea soldar.

La energía térmica necesaria para la fusión del metal base y el material de aporte es provista por el arco eléctrico que salta desde el electrodo hacia las piezas que se desean unir. En este proceso se emplea corriente que puede ser continua o alterna. El arco se forma por el cortocircuito que se produce entre el electrodo y la pieza a soldar, en el punto de contacto el calentamiento es tan intenso que se empieza a fundir el extremo del electrodo, se produce ionización térmica y se establece el arco.

Para obtener una buena soldadura con arco eléctrico se debe seleccionar correctamente el electrodo según el material, el tipo y el diámetro del electrodo como se muestra en la Tabla 20. El diámetro del electrodo dependerá del espesor del metal a soldar, separación de los filos de la unión, posición de la unión y la habilidad del soldador.

Posición Plana Espesor del Metal	Medida del Electrodo	Amperaje Aproximado
Calibre 18	3/32"	50 - 80
Calibre 16	3/32"	
Calibre 14	1/8"	90 - 135
Calibre 12	1/8"	
Calibre 10	5/32" ó 1/8"	120 - 175
3/16"	5/32" ó 1/8"	
1/4"	3/16" ó 5/32"	140 - 200
5/16"	3/16" ó 5/32"	200 - 275
3/8"	1/4" ó 3/16"	
1/2"	1/4" ó 3/16"	250 - 350
3/4"	1/4"	
1"	1/4"	325 - 400

Tabla 20. Tabla de selección de diámetros de electrodos revestidos según distintos parámetros.

Si el amperaje seleccionado es demasiado alto entonces el electrodo llegara rápidamente a su temperatura de fusión resultando en la obtención de una pileta liquida muy grande e irregular, ahora si el amperaje es muy bajo el calor no será suficiente para fundir el metal base y el baño será pequeño.

En cuanto a la velocidad de soldadura se determina que si esta es excesiva entonces la pileta fundida no se mantendrá en ese estado por el tiempo necesario, reteniendo impurezas y logrando un cordón angosto. Cuando la velocidad es muy lenta se logra un cordón mas alto.

También se debe tener en cuenta la longitud del arco eléctrico, dado que si el arco es muy largo entonces el metal se fundirá en el extremo del electrodo, esto producirá un cordón de soldadura mas ancho y con riesgo a que la fusión entre el metal y el depósito no sea la suficiente. Por el contrario si el arco es muy corto, el calor son será suficiente para fundir el metal base de forma correcta, y el electrodo se pegará a la pieza de forma intermitente. (OXGASA, 2009)

14.4.3. Proceso de soldadura

El proceso de armado consiste en un punteo inicial de las aletas a la chapa de la pared interna del intercambiador mediante soldadura sin aporte, la misma puede realizarse con soldadora por arco eléctrico o con una soldadora tipo Inverter (TIG). El punteo inicial es esencial para presentar las piezas y darles el sostén y estructura sin que se doblen las chapas a causa del calor generado por la soldadura continua. El proceso de punteo comienza desde una de las esquinas de las aletas, luego en la esquina contraria, y finalmente se realizan los puntos de soldadura centrales. Este procedimiento se debe repetir con cada una de las aletas y luego con las demás.

15. Proyecto de inversión para producción de intercambiadores modulares.

15.1. Resumen ejecutivo

Este intercambiador de calor permite canalizar y direccionar el calor generado por la estufa. El tamaño del dispositivo es de 1 metro de alto por 0,8 metros de ancho y 0,8 metros de profundidad, pesa 23 kg aproximadamente.

El producto se venderá a empresas distribuidoras que se encargaran de la venta e instalación del equipo. Mar del plata es una ciudad con un fuerte polo industrial, por lo tanto los principales clientes serán ferreterías industriales y casas de venta equipamiento para jardín, camping. El mercado final se estima que esta compuesto aproximadamente por 40.000 hogares (20% del total de hogares totales de la región) que no tienen acceso a la red de gas. Al ser una empresa nueva el proyecto pretende alcanzar el 15,3% de dicha demanda, es decir, 1224 estufas anuales con la producción de la planta al 100% de su capacidad.

El precio de venta del producto es de 130US\$, la planta trabajara todos los años al 100% de su capacidad.

El terreno donde la planta se instalara se ubica en la zona noreste de la ciudad, próximo a zona industrial/comercial y con fácil acceso desde autopista y avenidas principales. Esto permitirá un acceso rápido tanto de proveedores como distribuidores.

La empresa estará compuesta un supervisor general que llevara a cabo tareas administrativas, comerciales, de supervisión y de dirección de la planta. Se requerirán 4 operadores en total, uno de ellos será poco especializado para los equipos de corte y rolado, el mismo trabajara 5 días a la semana en jornadas de 8 horas. Los restantes 3 operadores se requiere que sean especializados para el soldado de las partes y trabajaran 6 días a la semana en jornadas de 8 horas, 12 meses al año.

Los beneficios anuales son de 61.600US\$ y costos totales de producción sin depreciación de 77.800US\$

Luego del análisis económico el proyecto resulta rentable y se requiere una inversión total de US\$ 136.200- teniendo asociado un tiempo de repago de 2 años. Del estudio de la rentabilidad surge que la tasa interna de retorno (TIR) es del 38,4%.

15.2. Antecedentes

Actualmente muchas personas se ven imposibilitadas en afrontar los costos del servicio de gas para mantener calefaccionado el hogar durante sus horas funcionales, por lo tanto se propone la fabricación y venta de un dispositivo que permita alcanzar tal

fin pero a un costo menor. A raíz de lo anterior se propone la construcción de un intercambiador de calor adicional a estufas que permita canalizar el aire hasta el destino de interés.

15.3. Análisis del mercado

15.3.1. *Descripción del producto y usos*

El producto que se propone fabricar consiste en un intercambiador de calor que se adiciona a estufas y salamandras cuya cámara de combustión sea cilíndrica.

Este dispositivo funciona gracias a la transferencia de calor por convección y conducción proporcionada por la reacción exotérmica de combustión que se lleva a cabo en la estufa, elevando la temperatura del aire que se encuentra dentro del intercambiador y el cual luego será canalizado hasta la habitación que se desea calefaccionar.

15.3.2. *Aspectos generales del sector productivo*

El intercambiador de calor como producto reúne características estructurales metalúrgicas y tecnológicas de la fabricación. El principal insumo que se requiere para la fabricación del intercambiador son chapas de acero laminados, en Argentina los principales productores son Ternium-Siderar y Acindar, por lo tanto la disponibilidad de insumos no representa un obstáculo. La adquisición de este insumo de chapas de acero se lograra mediante un distribuidor industrial local (Centrosider) que realiza ventas por mayor.

Hace años atrás era mas común que la gran mayoría de las casas contaran con estufas hogar o de hierro para calefaccionarse y/o cocinar, hoy en día debido a la disponibilidad de las redes de gas y electricidad se logro que la mayoría de los hogares urbanizados puedan utilizar equipos mas prácticos para tal fin, sin embargo tienen un costo de adquisición, servicio e impuestos que según sea la localización, el consumo y la tecnología pueden ser muy altos.

En la actualidad gran parte de las estufas que se venden en ferreterías industriales o casas de camping son de fabricación provincial aunque es común aun el pedido por encargo en las herrerías. Es relativamente sencillo en la ciudad acceder a la compra de una estufa pero no así sucede con la disponibilidad de dispositivos que permitan canalizar el calor para calefaccionar espacios adicionales.

El intercambiador de calor como producto reúne características que derivan de la metalurgia y herrería. El principal insumo que se requiere para la fabricación del intercambiador son chapas lisas de acero laminado. En Argentina los principales productores de chapas planas de acero son Ternium-Siderar y Acindar. Por lo tanto la disponibilidad de insumos no representa un obstáculo para el proyecto. La adquisición de este insumo se lograra mediante un distribuidor industrial local (Centrosider) que tiene modalidad de venta por mayor con distribución bonificada.

15.3.3. *Demanda*

El primer grupo de interés es el de aquellas familias que viven en la periferia de la ciudad sin acceso a los servicios tradicionales de gas o luz y que cuestiones como la de la calefacción les representa una controversia diaria. La mayoría de estas familias no cuentan con la opción de mudarse a zonas más urbanizadas debido a los limitados ingresos.

Este primer grupo de interés mide sus gastos con mayor detenimiento debido a la limitación que les representa, por lo tanto, se debe considerar el rango de los salarios disponibles. Según fuentes oficiales el ingreso con el que se debe contar una familia para no estar por debajo de la línea de la pobreza es de \$35.647.- En el caso del sueldo promedio para el puesto de operario de Producción es mismo ronda los \$23.400 al mes. Con una variaciones entre los \$18.000 y los \$30.000 mensuales.

También existe un segundo grupo de interés que esta vinculado con la permacultura, son aquellos interesados en un mayor aprovechamiento de la energía y en el cuidado medioambiental, este nicho de interesados constantemente busca técnicas o dispositivos que no sean dañinos para el medioambiente. Este grupo puede contar con conexión a la red de gas pero el motor que lo impulsa a la adquisición de este producto es el de utilizar la energía de un modo más eficientes.

15.3.4. Oferta

Este es un producto exclusivo y no se encontraron antecedentes de dispositivos similares cuya funcionalidad sea el direccionamiento de aire caliente mediante un intercambiador de calor.

Existen dispositivos que mediante la convección forzada transportan el aire a otros espacios, son de fabricación y diseño europeo. La instalación de cañerías depende del usuario y es aplicable a estufas hogar con cámara de aire interna, es decir, no a salamandras u otras estufas.

La empresa MCZ de origen italiano brinda un servicio integral de instalación de estufa de gas o leña y su sistema de canalización de aire caliente considerando aspectos de diseño modernos y minimalistas.

La Tabla 21 detalla las empresas que brindan productos o servicios que tienen como objetivo el mismo mercado.

Empresa	Servicio / producto	Costo U\$S	Contacto
ChimeNorte	Los ventiladores que permiten distribuir el aire caliente de la campana de la chimenea a otras estancias.	\$ 283	http://www.chimeneasyconductos.com/category/85-ventilador-para-llevar-aire-caliente-de-la-chimenea.aspx
MCZ	Con el sistema Comfort Air®, patentado por MCZ, el aire caliente producido por la estufa es transportado a otros espacios de la casa a través de los tubos de pared.	\$ 3.414	https://www.mcz.it/es/elije-tu-calor/calentar-varias-habitaciones/
Soluciones Peisa	Sistema de calefacción por radiadores	\$ 1.196	http://www.peisa.com.ar/soluciones/calefaccion/
Eskabe	Calefactor Tiro Balanceado Eskabe S21 3000kcal	\$140	http://www.eskabe.com.ar
Öfen	Estufa de pellets	\$1.607	http://www.ofen.com.ar/precios.html

Tabla 21. Precios y productos de competidores.

15.3.5. Canales de comercialización.

Al ser un producto se venderá a distribuidores industriales quien se encargaran de la venta al cliente final y de la instalación y aumentaran el precio de venta en planta un 15%. Los distribuidores a los se les venderá el producto serán:

- Casas de ventas de estufas y equipos de calefacción
- Casa de venta de artículos de camping y jardín
- Ferreterías industriales

15.3.6. Caracterización de la competencia

La competencia mas próxima que tiene el producto son el piso radiante y radiadores cuyo principio de funcionamiento se basa en la circulación de agua caliente mediante cañerías dirigida hasta los radiadores de cada ambiente en los cuales se intercambia el calor con el aire por convección natural, pero estos requieren de una caldera y a su vez de un suministro constante de gas y el costo del equipo e instalación es bastante alto.

15.3.7. Segmentación del mercado

- Grupos familiares, con viviendas de material, en la periferia de la ciudad, con limitaciones en servicios de gas. Este grupo esta compuesto por 40.000 hogares de los cuales se abarcara un 15,3%.
- Interesados utilizar energías eficientes y medios compatibles con el medioambiente. Año tras año incrementa la cantidad de personas interesadas en esta asignatura y cada vez son mas las empresas que adoptan actitudes

ambientalistas. Según un estudio de la Universidad Nacional de Tres de febrero (Untref) en el año 2016 el 86% de la población dice preocuparse por el cuidado del medio ambiente, lo que no quiere decir que lleven a cabo acciones para reducir el impacto. Del mismo estudio se determinó que entre un 35% y un 45% de la población lleva a cabo prácticas de cuidado energético y de disposición de desechos.

15.4. Ingeniería de la Producción

15.4.1. *Capacidad de producción*

Según el análisis de la demanda se puede concluir que la misma está repartida entre distintos grupos de interés. Esta conclusión se obtiene a partir de los datos poblacionales de viviendas que no tienen conexión al servicio de gas, que representa aproximadamente un 20% de todos los hogares de la localidad, además se debe considerar la actual problemática respecto a la limitada capacidad de la empresa distribuidora de gas del partido de Gral. Pueyrredón la cual no llegaría a cubrir la totalidad de la demanda, sin embargo aunque se están realizando obras para aumentar esta capacidad de entrega la aplicación está demorada desde hace más de un año.

La capacidad de producción de intercambiadores de calor tiene como objetivo abastecer al 15,3% del mercado al finalizar el proyecto.

15.4.2. *Equipos de proceso.*

Para definir el parámetro de representación de la capacidad de producción se analiza la productividad de los principales equipos involucrados.

Soldadora por arco eléctrico, manual con electrodo:

La velocidad de trabajo efectiva estimada para soldar chapas de aproximadamente 1mm es 0,13mts/min (velocidad promedio estimada de experiencia real y dependiendo de la experiencia del operador) y se debe considerar un tiempo efectivo del 40% además de los tiempos de descansos del personal. Si consideramos jornadas de 8hs y un diagrama de 6 días a la semana se estima aproximadamente una producción de 43 estufas al mes con 3 puestos de soldador y con la capacidad al 100%. Ver Ilustración 29.



Ilustración 29. Soldadura convencional. Arco eléctrico. CA

Pantógrafo CNC

Mediante un programa de computadora que indica las acciones a llevar a cabo se transfieren los patrones de corte a una herramienta la cual los efectúa sobre una plancha de acero con la técnica de corte por plasma. Considerando todas las piezas que forman el intercambiador se tienen aproximadamente 36 metros de corte efectivo por unidad de intercambiador. La velocidad de corte del pantógrafo es alrededor de 4mts/min para chapas de aproximadamente 1mm de espesor. Considerando demoras y descansos del personal se estima que con jornadas de 8hs y 5 días de trabajo a la semana la producción será de hasta 311 intercambiadores al mes con solo operador.



Ilustración 30. Pantógrafo CNC. Corte plasma

Roladora manual:

En estos equipos, Ilustración 31 el accionamiento es eléctrico con motor reductor. Permite rolar chapas de hasta Espesor 1,6 mm. En esta parte del proceso no se generan recortes ni desperdicios por lo tanto el tiempo de operación es menor. Siendo

aproximadamente de 10 minutos por pieza debido a la colocación de la chapa y ajuste de rodillos y a la disposición de la piezas terminadas. Lo que generaría una productividad de 45 piezas por día.



Ilustración 31. Roladora eléctrica.

Se comprende por lo tanto que el cuello de botella en el proceso de fabricación es la soldadura de las partes. Se estima inicialmente la soldadura con equipo manual de arco eléctrico con electrodos y se compara la misma con un equipo de soldadora Inverter, como se detallo en unidades anteriores es una metodología mas eficiente.

Soldadora Inverter (TIG):

Este innovador modelo de soldadoras con regulador de corriente electrónico y transformador a CC presenta una velocidad de trabajo efectiva estimada para soldar chapas de 1mm de 0,13mts/min, igual a la soldadora manual, con la diferencia de que la versatilidad del equipo permite que no se requiera demasiada experiencia para realizar tareas de este tipo y que el tiempo efectivo sea del 90%. Por lo tanto teniendo en cuenta para el proyecto de inversión presente los tiempos de descanso, jornadas de 8hs y 6 días de trabajo a la semana se estima una producción de 26 estufas al mes con solo operador. Ver Ilustración 32.

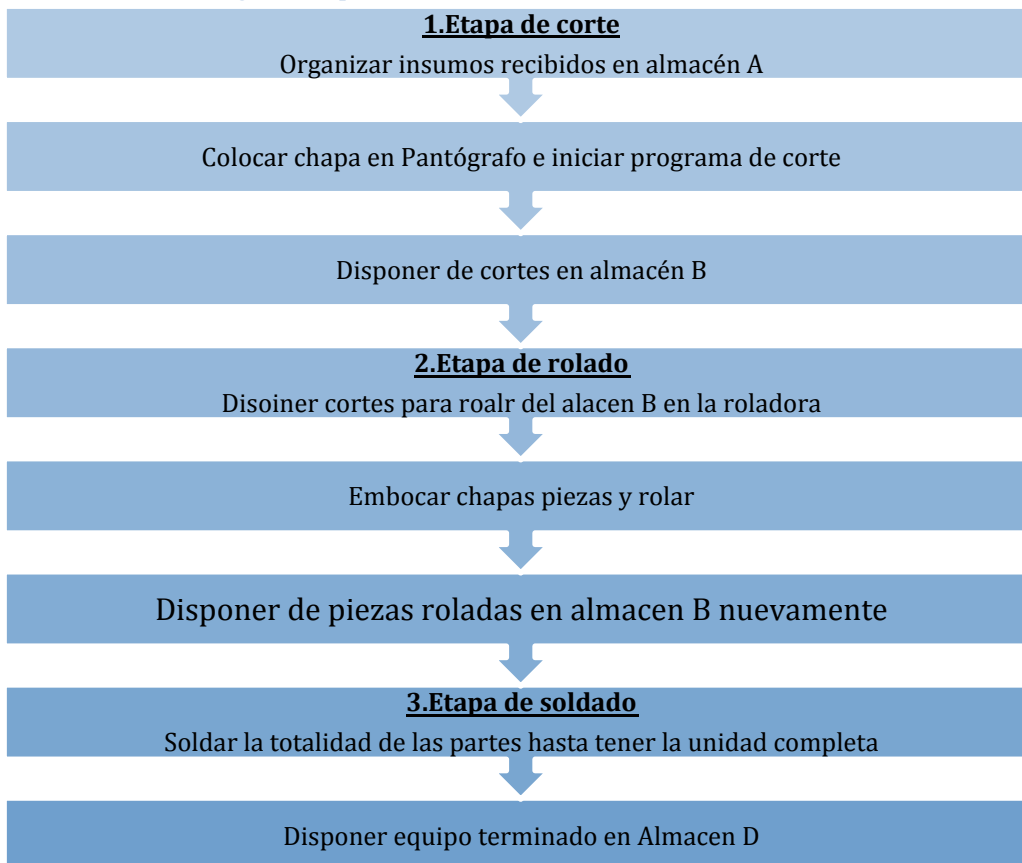


Ilustración 32. Soldadora Inverter.

15.4.3. Etapas del proceso productivo

En la Tabla 22 se muestra el diagrama de proceso para la producción del intercambiador de calor.

Tabla 22. Diagrama de procesos



15.4.3.1. Etapa de corte

El pantógrafo por control numérico es el equipo seleccionado para llevar a cabo la tarea de corte de piezas y tiene la ventaja de poseer alta velocidad y calidad de corte.

Inicialmente se debe crear el programa de corte que se ejecutara sobre cada plancha de acero para obtener las piezas del intercambiador, una vez programado el código este no volverá a cambiarse a no ser que se utilicen los recortes para minimizar el desperdicio, para dicho caso se considerara utilizar otro programa.

Las tareas llevadas a cabo por el operador con su estimación de tiempos de ejecución se detallan en la Tabla 23:

Tareas y tiempos requerido para corte con pantógrafo	Minutos
1) Aproximar las plancha de acero que estar almacenadas en al el ALMACEN A	3'
2) Colocar y alinear una plancha sobre la mesa de corte del pantógrafo	2'
3) Encender el equipo y ejecutar el programa de corte	11'
4) Retirar las piezas cortadas y acomodarlas en el ALMACEN B	8'
5) Retirar los remanentes y disponer de ellos en el container de despacho en la entrada	3'
TOTAL	29'

Tabla 23. Tareas asignadas al puesto del cortador

Por cada unidad de intercambiador de acero se requieren 27 minutos de operación completa de la actividad de corte. Se requiere mínima experiencia en ejecutar estas tareas, por lo que no se requiere personal especializado. Se estima que el operador utilice el 30% de su jornada para ejecutar esta tarea. El resto de tiempo realiza tareas de rolado, orden y limpieza de deposito y el descanso asignado de 30 minutos por jornada.

15.4.3.1. Etapa de rolado

El tiempo destinado al rolado de las partes es debido en gran medida a la puesta a punto del equipo y montaje de la chapa . En general es un proceso rápido ya que no se debe esperar a que el equipo entre en régimen de operación y como en el mismo no se generan desperdicio de material tampoco se requiere tiempo para disponer de los mismos.

15.4.3.2. Etapa de soldado

El proceso de soldado de partes es el de mayor criticidad dado el tiempo de ejecución que demanda la tarea. Se selecciono el equipo de soldado mas eficiente para este proceso ya que su manipulación no demanda un perfil altamente capacitado y el tiempo efectivo de ejecución es superior a la de una soldadora tradicional.

La Tabla 24 detalla las tareas asignadas que tienen el puesto del soldador.

Tareas y tiempos requerido para soldado de partes por unidad	Minutos
1) Montaje y alineado de piezas en soporte para soldar.	10'
2) Punteo de piezas	40'
3) Ejecución de soldaduras continuas por estufa	295'
TOTAL	315'

Tabla 24. Tareas del puesto de soldador

Por cada unidad de intercambiador la operación de soldadura requiere 315 minutos. Se estima que el operador utilice el 95% de su jornada para ejecutar esta tarea. El tiempo restante le corresponde al descanso asignado de 30 minutos por jornada.

El montaje y alineado de piezas es necesario para combinar los ángulos y aristas, es importante para conservar las dimensiones del equipo.

El punteo de piezas es necesario para que las piezas se mantengan alineadas cuando se ejecute el cordón final.

Las soldaduras continuas son las que terminan se cerrar el dispositivo. Se ejecutan sobre todas las aristas del conjunto, es la subtarea que mas demora.

15.4.4. Especificación de los equipos para cada etapa del proceso

En la Tabla 25 se detalla la marca y demás características de los equipos principales.

Tipo	Marca	Modelo	Características operativas
Pantógrafo	INTECH	INT 1/2 PLACA	1200MM X 1200MM - 1,6 KW
Soldadora	LÜSQTOFF	IRON-250	180 A - 6,5 KW
Roladora	DK	C 80-2X1300	

Tabla 25. Características del equipos.

15.4.5. Determinación de los metros cuadrados de construcción, materiales.

La construcción de la planta se llevara a cabo en un terreno periférico a la ciudad priorizando el fácil acceso a proveedores y distribuidores. El espacio definido para la construcción tiene dimensiones de frente de 15 metros y 25 de fondo. El costo del mismo es de U\$S13.400 y su ubicación se puede ver en la

La construcción requerida para la planta no tiene requisitos específicos ya que lo esencial es el espacio de almacenamiento y de operatoria de corte, rolado y soldado principalmente. Esto significa que se construirán paredes de material, ladrillos y cemento, considerando el revoque y las paredes internas, el techo será de chapa y se colocaran 2 persianas metálicas en el frente para facilitar los accesos, descargas de insumos y movimientos de maquinarias. Se utilizaran cerámicos para el baño y la cocina. La ilustración 4 muestra la disposición y dimensiones del terreno donde se construirá la planta. En la Tabla 26 se observa el resumen del calculo de la cantidad de m² tanto de terreno como de pared terminada que se requieren y techo.

Item	Dimensiones
Terreno	379,5 m ²
Construcción (paredes)	775 m ²

Tabla 26. metros cuadrado de terreno y construcción



Ilustración 33. Terreno ubicación

15.4.6. *Determinación del layout de la planta.*

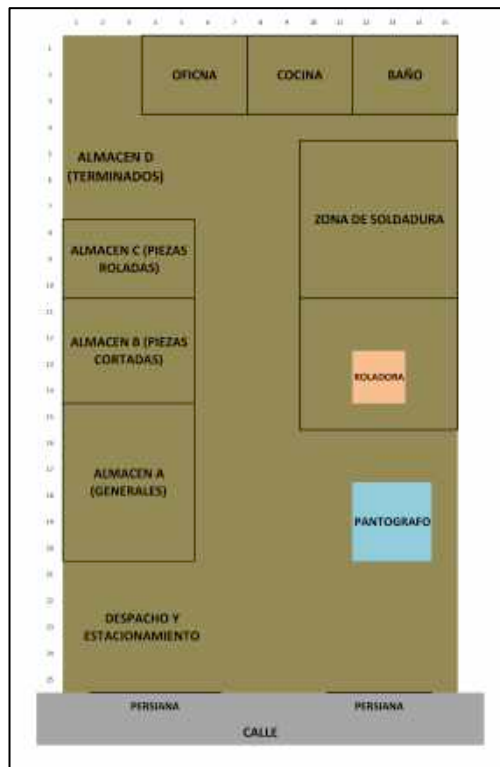


Ilustración 34. Disposición de la producción

15.4.7. Cálculo de los factores variables

15.4.7.1. Materia prima

Los recortes de las planchas de acero que no se pueden utilizar representan el 25% de la materia prima por lo tanto el rendimiento de la planchas de acero es del 75%. En la Ilustración 26 se observa la disposición de los cortes en la chapa de acero, por cada 2,1 chapas de acero se obtienen los cortes de las piezas para una estufa.

Para una producción del 100% se necesitan 320 unidades de chapa al año.

15.4.7.2. Costo Horas-hombre y supervisión

La Tabla 27 detalla el personal que requerirá el proyecto y el costo por su mano de obra y servicios incluyendo cargas sociales, tanto de los puestos operativos como de supervisión.

Se requieren 4 puestos operativos, 3 de soldador y 1 de cortador-rolador. Los operador de soldadura desarrollaran la tarea de unión de partes, mientras que el operador de corte y rolado tendrá mas cantidad de tareas pero mas livianas, debido a la alta velocidad de corte y automatización del pantógrafo que no demanda mucho tiempo. El operador de corte y rolado es responsable de los cortes de las partes, del rolado de las piezas y de mantener el orden de los depósitos. El supervisor realizará tareas de planificación, control y administración. El costo por la supervisión se evalúa respecto a las responsabilidades que abarcara, desde la supervisión de tareas y movimientos de la planta en general hasta tareas administrativas y contables.

Cantidad	Especialización	U\$s/año
3	Soldador	\$ 21.888
1	Cortador ayudante	\$ 5.760
1	Supervisor administrativo	\$ 6.783
Total		\$ 34.430

Tabla 27. Costos de mano de obra y supervisión

15.4.7.3. Servicios

La Tabla 28 muestra los consumos de cada servicio anualmente y el costo por los mismos. Se requerirá servicios básicos siendo el de mayor consumo la luz dado es la alimentación de los 2 equipos principales.

La Tabla 29 indica el consumo de cada equipo, lo que permite identificar que la etapa de soldado es la mas critica dado el tiempo que demanda la actividad y por lo tanto es a la que mas atención se debe prestar para evitar reprocesos.

Servicio	Cantidad	U\$s/año
Luz	35100 kwh/año	\$ 2.528
Gas	1800 m ³ /año	\$ 429
Agua		\$ 100
Internet		\$ 360
Total		\$ 3.416

Tabla 28. Costo y cantidad servicios.

Equipo	Consumo luz kwh/mes
Pantógrafo	6
Soldadora	2.925
Iluminación	280

Tabla 29. Consumo de KWh de los equipos principales

15.5. Aspectos administrativos

15.5.1. Estructura Organizacional

La Ilustración 35 permite ver la estructura organizacional donde el supervisor ejecutara tareas también de encargado de la empresa y será responsable por los 4 operadores de los equipos.

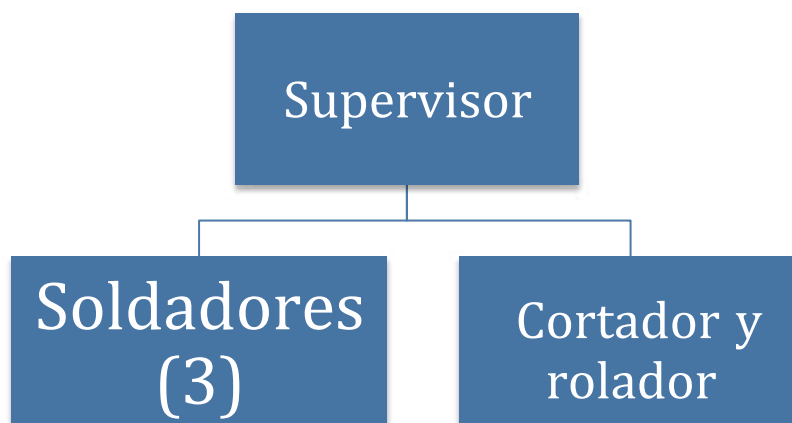


Ilustración 35. Organigrama

15.5.2. Impacto social y ambiental

Este equipo aumenta el confort del hogar debido a que permite a ciudadanos de bajo poder adquisitivo, interesados en la eficiencia energética o de difícil alcance a la red de gas a tener el acceso a una climatización ambiente más homogénea, facilitando sus vidas y tareas cotidianas. Al aumentar la eficiencia de la estufa el consumidor no gastará más dinero para calefaccionar otra habitación. La idea de aumentar la eficiencia permite también generar conciencia sobre el uso responsable de la energía.

El equipo intercambiador es duradero dado que esta construido íntegramente de acero, por lo tanto una vez cumplida su vida útil se puede restaurar reemplazando las piezas dañadas o también puede ser vendido como chatarra.

15.5.3. Marco legal

- Ley de seguridad e higiene 11.459 de Radicación industrial que regula los accesos y áreas de almacenamiento.

15.6. Plan de Negocios

15.6.1. Análisis FODA

En la Tabla 30 se describen el análisis FODA.



Tabla 30. Análisis FODA

15.6.2. Matriz FODA

En la Tabla 31 se describen las distintas estrategias utilizando la matriz FODA.

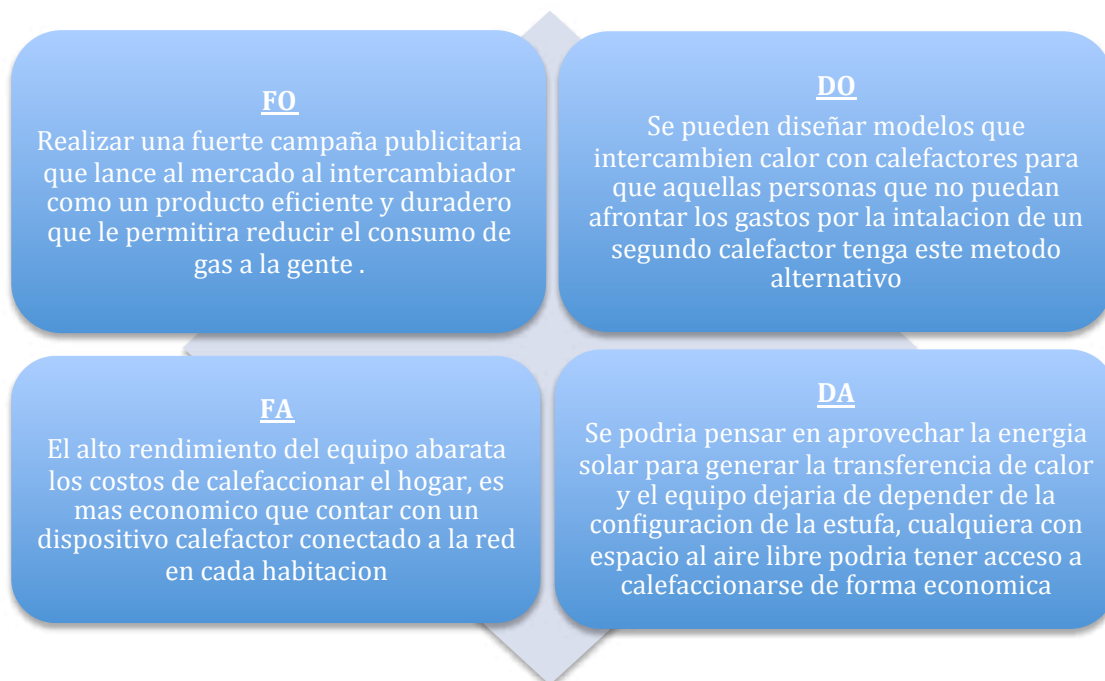


Tabla 31. Matriz FODA

15.6.3. Factores críticos de éxito

Se utilizara como factor de éxito el posicionamiento en el mercado, el cual se medirá en función de las ventas.

15.7. Evaluación económica del proyecto

15.7.1. Costo de construcción por m²

La planta de fabricación requerirá un edificio espacioso, dado que los equipos de producción y el insumo principal presentan amplias dimensiones.

La construcción será simple y con pocas divisiones internas, solo tendrá las necesarias para dividir almacenes y espacios personales como oficina administrativa, cocina y baño. Las paredes serán en gran medida de chapa y aquellas que lo requieran de material, el techo también será de chapa, el piso de cemento y se tiene en cuenta el acondicionamiento del baño, cocina y oficina junto con la instalación de la instalación de las cañerías de agua, gas y luz. La construcción se llevara a cabo con una empresa cuyo contrato es con condiciones de llave en mano por un precio de 77U\$ el m² de construcción terminada, la cual se estima que costará alrededor de 38.500 U\$.

15.7.2. Costo del terreno

El terreno esta ubicado en una zona industrial a 15 km del centro comercial principal de la ciudad, cercano a accesos a la ciudad (ruta 2) y un fácil ingreso por avenidas, estratégicamente ubicado para facilitar la relación con proveedores y distribuidores. El costo del terreno es de 13.400U\$.

15.7.3. Equipos principales.

En la Tabla 32 se detallan las marcas, modelos, costo y fecha de cotización de los equipos principales necesarios para la fabricación del intercambiador. Será necesario una soldadora y un pantógrafo CNC.

Tipo	Marca	Modelo	Precio U\$S	Fecha cotización
Pantógrafo	Intech	Int 1/2 placa	\$ 4.673,91	04/06/2019
Soldadora	Lüsqttoff	Iron-250	\$ 161,70	09/06/2019
Rolado	DK	C 80-2X1300	\$ 2333,00	10/11/2019

Tabla 32. Precio de equipos.

15.7.4. Inversión fija e inversión fija total.

En la Tabla 33 se detalla como esta compuesto el calculo de la inversión mediante el método de los factores.

IE + instalación		\$ 10.600
Tuberías de proceso		
Instrumentación	0,035	
Edificios de fabricación		\$ 59.417
Planta de servicios	0,15	
Conexiones entre unidades		
Inversión directa	0,185	\$ 71.978
Ingeniería y construcción	0,275	
Factores tamaño	0,1	
Contingencias	0,15	
Factor inversión indirecta	0,525	
Inversión fija		\$ 109.766
Terreno		\$ 13.417
Inversión fija total		\$ 136.150

Tabla 33. Estimación de la inversión por factores

15.7.5. Insumos

Para la construcción de un intercambiador de calor se requiere 2,1 chapas de acero. En la Tabla 34 se ve el desglose de los costos de insumos para un intercambiador, el costo total para una unidad del mismo es 39U\$S. La Tabla 35 muestra el valor de la hora hombre para las distintas especializaciones.

Cant.	Unidad	Costo	Detalle
2,1	M ² de chapa	U\$s 39	Las chapas tienen 2mx1m. Costo de 1 plancha u\$s 20
Total		U\$s 39	

Tabla 34. Desglose de costos de insumos.

Especialización	U\$s/hora
Soldador	\$ 3,2
Cortador-rolador	\$ 3

Tabla 35. Costos hora-hombre

15.7.6. Costos de producción

Los costos de producción se estiman en la Tabla 36, resultando cada equipo en un costo unitario de producción sin depreciación de 63,6\$. El costo de producción anual sin depreciación es 77.800U\$.

A. COSTOS VARIABLES UNITARIOS			61,4	U\$S/UN
1. Costo de materia prima	30	U\$S/UN		
2. Costo de envases	0	U\$S/UN		
3. Costo de mano de obra (m.o.)	23	U\$S/UN		
4. Costo de supervisión	6	U\$S/UN		
5. Costo de servicios	3	U\$S/UN		
6. Costo de mantenimiento	1	U\$S/UN		
7. Costo de suministros	0	U\$S/UN		
8. Costo de laboratorio	0	U\$S/UN		
9. Costo de regalías y patentes	0	U\$S/UN		
TOTAL A	61	U\$S/UN		
B. COSTOS FIJOS TOTAL SIN DEPRECIACION			2,2	U\$S/UN
1. Costos de inversión				
1.1. Costo de depreciación	-	U\$S		
1.2. Costo de impuestos	1098	U\$S		
1.3. Costo de seguros	0	U\$S		
1.4. Costo de financiación	0	U\$S		
2. Costo de ventas y distribución	1591	U\$S		
3. Costo de administración y dirección	0	U\$S		
4. Costo de investigación y desarrollo	0	U\$S		
TOTAL B	2.689	U\$S		
COSTO DE PRODUCCION SIN DEP. UNITARIO			63,6	U\$S

Tabla 36. Estimación del costo de producción.

15.7.7. *Capital de trabajo e inversión total.*

La Tabla 37 se muestra el desglose del calculo del capital de trabajo. En el calculo se consideran 2 meses de crédito a clientes resultando en una estimación de capital de trabajo de 12.970U\$S.

Capital de trabajo	U\$S 12.968
Meses de crédito a clientes	2
Costo prod. Mensual 1º año sin dep.	\$ 6.484

Tabla 37. Parámetros del calculo del capital de trabajo

En la Tabla 38 se resume los valores detallados anteriormente sobre el calculo de la inversión fija total.

Inversión fija total	U\$S 112.067
Terreno	U\$S 13.417
Inversión fija	U\$S 109.766

Tabla 38. Resumen de valores de IFT

En función a los datos expresados se obtiene el monto de dinero estimado para la inversión total, el detalle se observa en la Tabla 39.

Inversión total	U\$S 139.150
Capital de trabajo	U\$S 12.970
Inversión fija total	U\$S 123.190

Tabla 39. Detalle calculo Inversión total

15.7.8. *Precio de venta*

Para la determinación del precio de venta inicialmente se toman como referencia los precios de calefactores, los modelos pequeños rondan entre los 4500\$ARS (75U\$S) y los 9000\$ARS(150U\$S). A la hora de calefaccionar hogares el dispositivo de preferencia, para aquellas personas que sí tienen acceso a la red de gas, es el calefactor.

La mayoría de las familias eligen calefactores a la hora seleccionar un dispositivo para calefaccionar un espacio, lo que significa que incluso para aquellos con dificultades económica es un monto que están dispuestos a pagar por esta necesidad.

Finalmente se decidió optar por un valor medio del rango mencionado, para asegurar la aceptación del mercado y considerando que el distribuidor incrementará este precio un 20%. El precio definido para venta en puerta de fabrica es de U\$S130.

15.7.9. Ingresos por ventas.

La capacidad de producción máxima de la planta son 1224 unidades por año. El precio de cada unidad es de U\$S130.- Con estos parámetros se compone la Tabla 40 que detalla el calculo de ingresos por ventas.

	AÑO 1	AÑO2	AÑO3	AÑO 4	AÑO 5
% Producción	100%	100%	100%	100%	100%
Unidades	1224	1224	1224	1224	1224
Ingresos por ventas	U\$S 159.120	U\$S 159.120	U\$S 159.120	U\$S 159.120	U\$S 159.120

Tabla 40. Calculo ingresos por ventas.

15.7.10. Cuadro de fuentes y uso de fondos.

En la Tabla 41 se muestra el diagrama de usos y fuentes para los 5 años de vida útil del proyecto.

	AÑO 1	AÑO2	AÑO3	AÑO 4	AÑO 5
Capital propio	\$ 136.150				
Ingresos por ventas	\$ 159.120	\$ 159.120	\$ 159.120	\$ 159.120	\$ 159.120
Total A	\$ 295.270	\$ 159.120	\$ 159.120	\$ 159.120	\$ 159.120
Activo fijo	\$ 123.183				
Costos de producción	\$ 102.840	\$ 102.840	\$ 102.840	\$ 102.840	\$ 102.840
Capital de trabajo	\$ 12.968				
Total B	\$ 238.990	\$ 102.840	\$ 102.840	\$ 102.840	\$ 102.840
BNAI	\$ 56.280	\$ 56.280	\$ 56.280	\$ 56.280	\$ 56.280
BN	\$ 36.582	\$ 36.582	\$ 36.582	\$ 36.582	\$ 36.582
Impuestos					
Depreciación	\$ 25.035	\$ 25.035	\$ 25.035	\$ 25.035	\$ 25.035
Flujos de caja	\$ 61.617	\$ 61.617	\$ 61.617	\$ 61.617	\$ 61.617

Tabla 41. Cuadro de fuentes y usos.

15.7.11. Rentabilidad

15.7.11.1. Tiempo de repago.

Al ser los montos de los flujos de caja son constantes todos los años entonces el tiempo de repago se puede calcular por la relación que se muestra en la Ecuación 42.

$$\text{Tiempo de repago} = \frac{\text{Inversion fija depreciable}}{\text{Flujo de caja}} = 2 \text{ años}$$

Ecuación 42. Tiempo de repago

En el grafico se muestra el tiempo de repago, el grafico corta el eje en el valor de 2 años, valor el cual es menor a la mitad de la vida útil del proyecto.



Gráfico 9. Tiempo de repago

15.7.11.2. TIR. Tasa Interna de Retorno

En la Tabla 42 se muestran los valores utilizados para el calculo de la TIR. Al ser la TIR mayor que la TRMA se considera rentable el proyecto

Inversión total	US\$ -136150,12
Flujo de caja 1	US\$ 61.616,84
Flujo de caja 2	US\$ 61.616,84
Flujo de caja 3	US\$ 61.616,84
Flujo de caja 4	US\$ 61.616,84
Flujo de caja 5 +I+T+iw	US\$ 98.977,61
Tir	38,4%

Tabla 42. Calculo de la Tasa Interna de Retorno.

15.7.12. Punto de equilibrio

En la Tabla 43 se muestran los parámetros para el calculo del punto de equilibrio, el mismo resultado en un porcentaje de producción del 50% de la planta para el cual no se obtienen beneficios ni perdidas de dinero, dicho de otra manera, para que la planta obtenga beneficios es necesario vender más de 404 intercambiadores por año a US\$130 la unidad.

Punto de equilibrio		
Costo fijo total	2.689	US\$
Costo variable unitario	61	US\$
Pq => cp=it	404	Un/año
% Capacidad de equilibrio	50%	

Tabla 43. Análisis de la cantidad del equilibrio.

15.7.13. Sensibilidad.

Se analiza la sensibilidad variando un $\pm 10\%$ tanto los ingresos por venta como el costo de mano de obra, ya que, este ultimo es el más influyente en la estructura de costos a lo largo de los 5 años del proyecto.

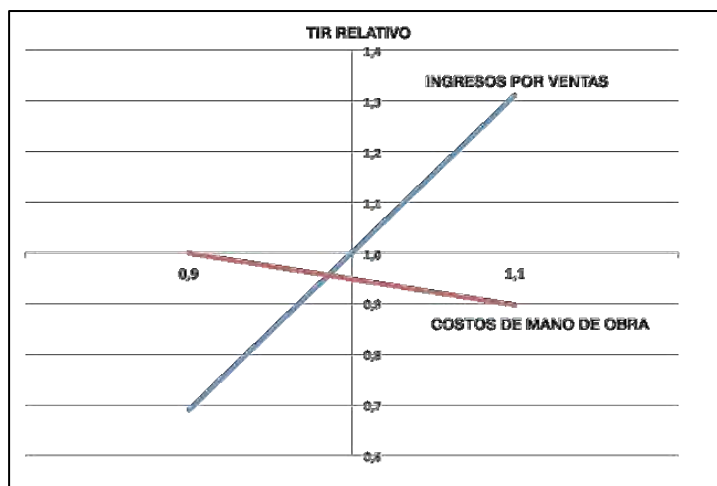


Gráfico 10. Análisis de sensibilidad

Del Gráfico 10 se comprende que el proyecto es sensible ante la variación de ambos parámetros ya que el valor de la TIR cambia ante la variación de los mismos, pero el proyecto es aun más sensible ante un cambio en los ingresos por ventas que frente a un cambio en el costo de mano de obra que es el mas influyente de la estructura.

16. Conclusión general y pendientes

16.1. Conclusión del estudio de construcción

Se desarrollo el taller de construcción de estufas Rocket con gran aceptación e interés por parte de la comunidad vecinal. A partir de este taller se logro construir e instalar la estufa e intercambiador de calor en la sociedad de fomento, se logro que varios vecinos construyan sus propias estufas y que tengan la capacidad de transmitir los conocimientos aprendidos, se logro establecer un vinculo social en torno al interés y compromiso respecto al cuidado y uso eficiente de la energía.

Respecto a diseño del equipo se determinaron los valores de caudal y velocidad del flujo a través del intercambiador y del conducto de canalización. En función a los resultados del calculo de transferencia térmica se determinó que no es necesario colocar un forzador de aire ya que basta con el caudal que se genera por la propia convección natural.

Se demostró experimental y teóricamente que el calor liberado por la combustión en la estufa es suficiente para lograr la diferencia de temperatura en el aire que atraviesa el intercambiador.

Se demostró que las pérdidas por fricción en los conductos y en los accesorios son insignificantes.

Se determinó el espesor de aislante mínimo para el material de lana de vidrio, este debe ser no menor a 50mm para alcanzar la temperatura deseada en el aire que se canaliza hacia la habitación.

La fabricación se llevó a cabo con pantógrafo de corte por plasma CNC, roladora y soldadora TIG.

Se definieron en función de las velocidades de corte los tiempos operativos para fabricar una unidad de intercambiador, resultando el mismo en 5,25h horas por cada intercambiador de calor, siendo la soldadura la tarea mas demandante.

16.2. Conclusiones del proyecto de inversión

Analizando la TIR y el tiempo de repago se puede concluir que el presente proyecto es rentable. El calculo del tiempo de repago es menor a la mitad de la vida útil del proyecto, es decir, el capital invertido se recuperará en dos años y seis meses.

La tasa de retorno obtenida por la TIR es de 38% cuando la Tasa Nominal Anual por los establecimientos bancarios está alrededor del 30%. Por ejemplo, el banco Nación presenta una T.N.A de 36%.

El proyecto resulta rentable, e incentiva a la introducción de un producto innovador que le permite a aquellos usuarios con limitado acceso a una red de gas o con imposibilidad de afrontar los costos de la misma a tener una oportunidad sustentable y económica de calefaccionar sus hogares, esto se logra redistribuyendo y aprovechando mejor la energía involucrada. El proyecto, además, cuenta con el apoyo de las políticas gubernamentales que fomentan el cuidado del medio ambiente, tema que actualmente es de suma importancia. Por lo tanto, se puede concluir que el producto propuesto disminuye la contaminación térmica, mejora la calidad de vida del usuario.

16.3. Pendientes

Quedan como tareas pendiente las siguientes;

- Comprobar el tiempo que demora el conjunto de estufa e intercambiador en entrar en estado estacionario, para agudizar la mediciones experimentales tomadas.
- Evaluar el calculo de transferencia térmica para un dispositivo de intercambio mas pequeño y con mayor versatilidad para adicionar a salamandras y cocinas económicas de cámara de combustión prismática.

Anexo

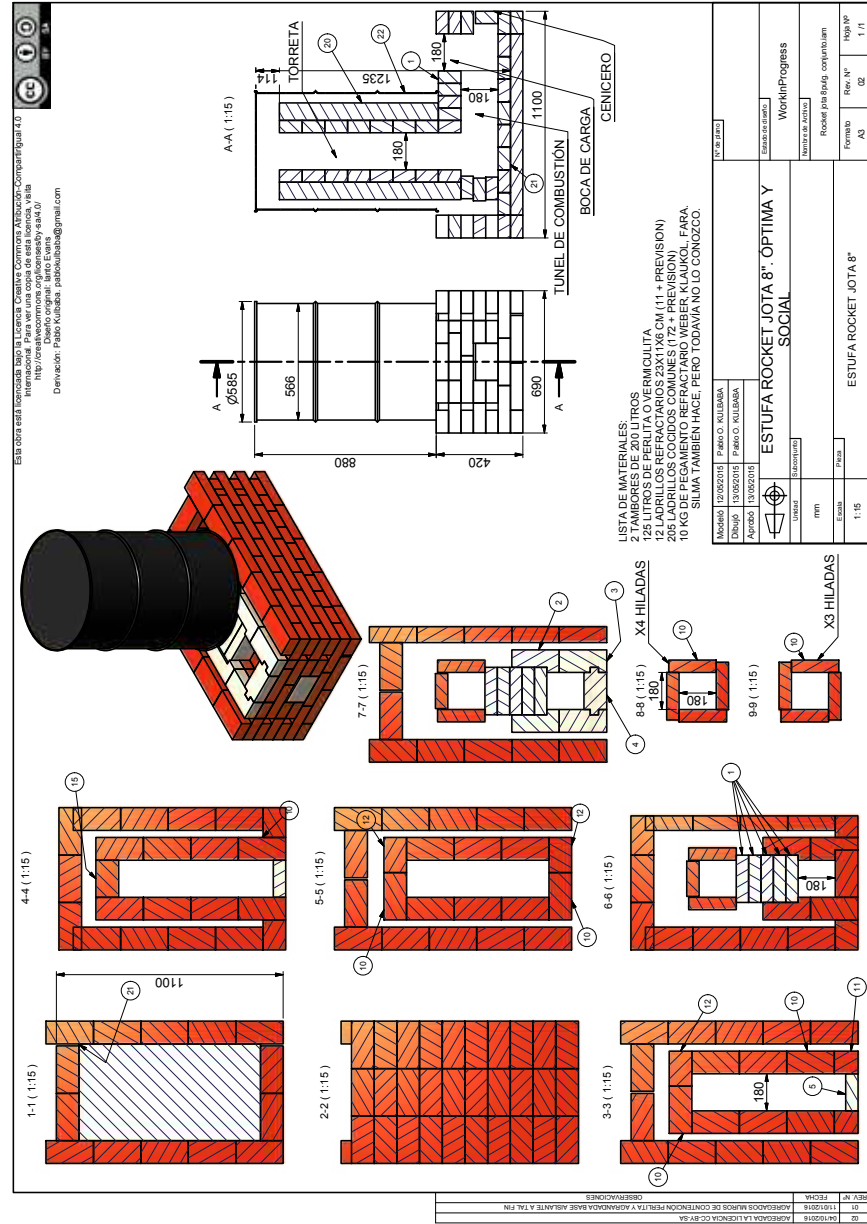


Ilustración 36. Plano construcción cámara de combustión Estufa Rocket

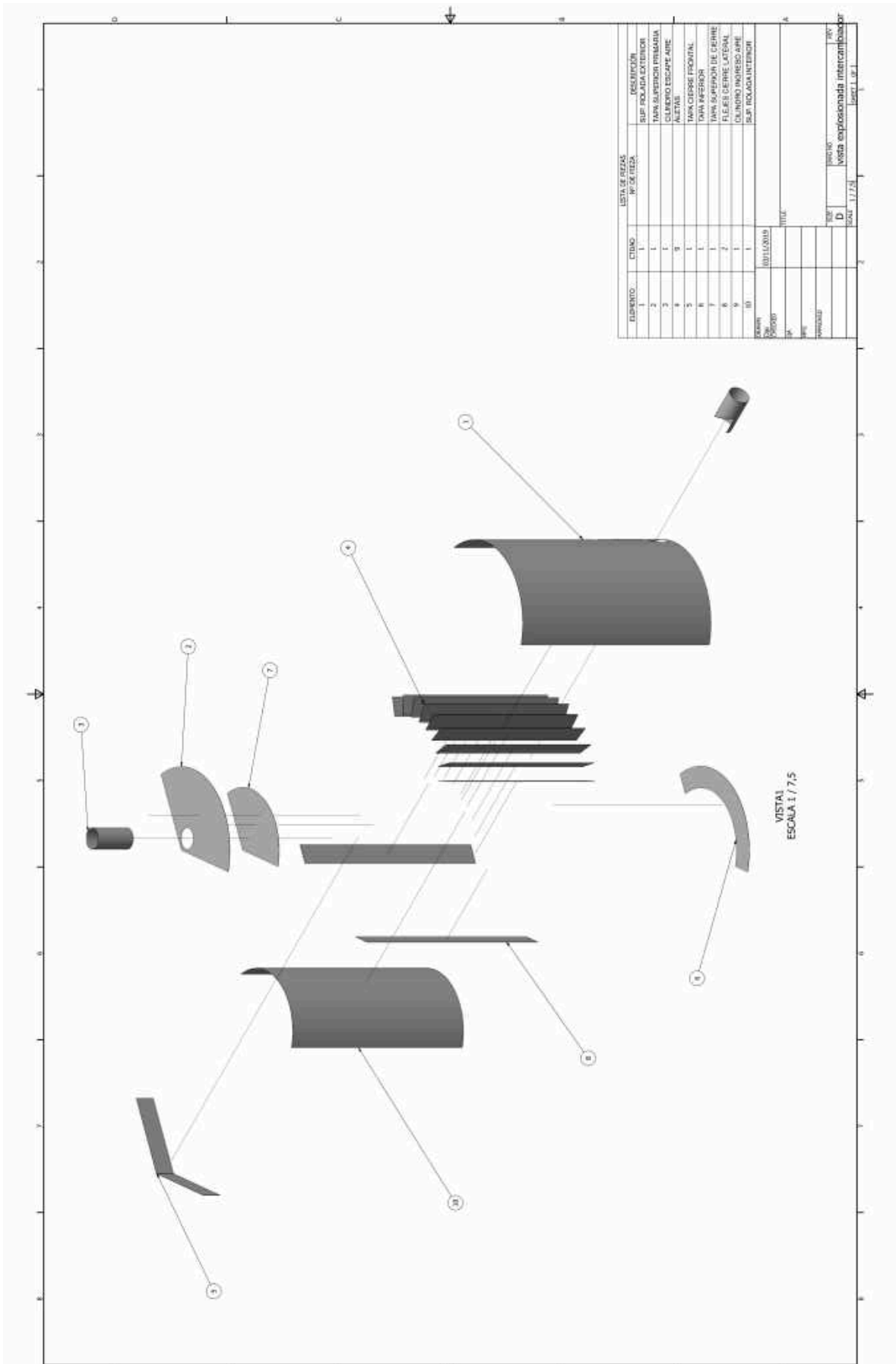
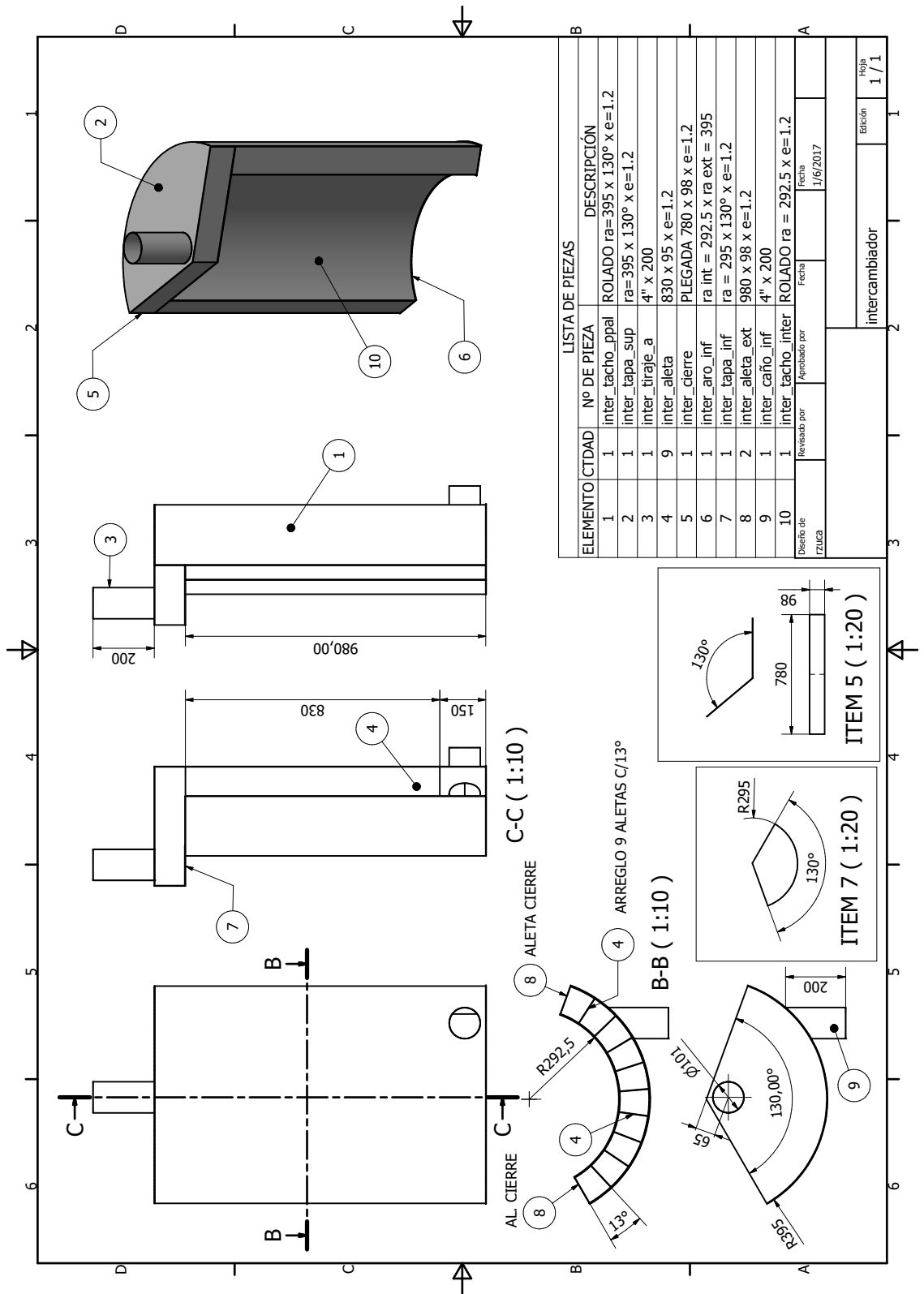


Ilustración 37. Vista explotada intercambiador de calor



ELEMENTO		CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	inter_tacho_ppal	ROLADO ra=395 x 130° x e=1.2	
2	1	inter_tapa_sup	ra=395 x 130° x e=1.2	
3	1	inter_tiraje_a	4" x 200	
4	9	inter_aleta	830 x 95 x e=1.2	
5	1	inter_cierre	PLEGADA 780 x 98 x e=1.2	
6	1	inter_aro_inf	ra int = 292.5 x ra ext = 395	
7	1	inter_tapa_inf	ra = 295 x 130° x e=1.2	
8	2	inter_aleta_ext	980 x 98 x e=1.2	
9	1	inter_caño_inf	4" x 200	
10	1	inter_tacho_inter	ROLADO ra = 292.5 x e=1.2	
Diseño de		Revisado por	Aprobado por	Fecha
PIZUCA				1/6/2017
				Fecha
				1/6/2017
				Edición
				1 / 1
				Hoja
				1 / 1

Ilustración 38. Plano ensamblaje de piezas del intercambiador de calor

Diagrama de pérdidas de carga en conductos circulares de pared lisa

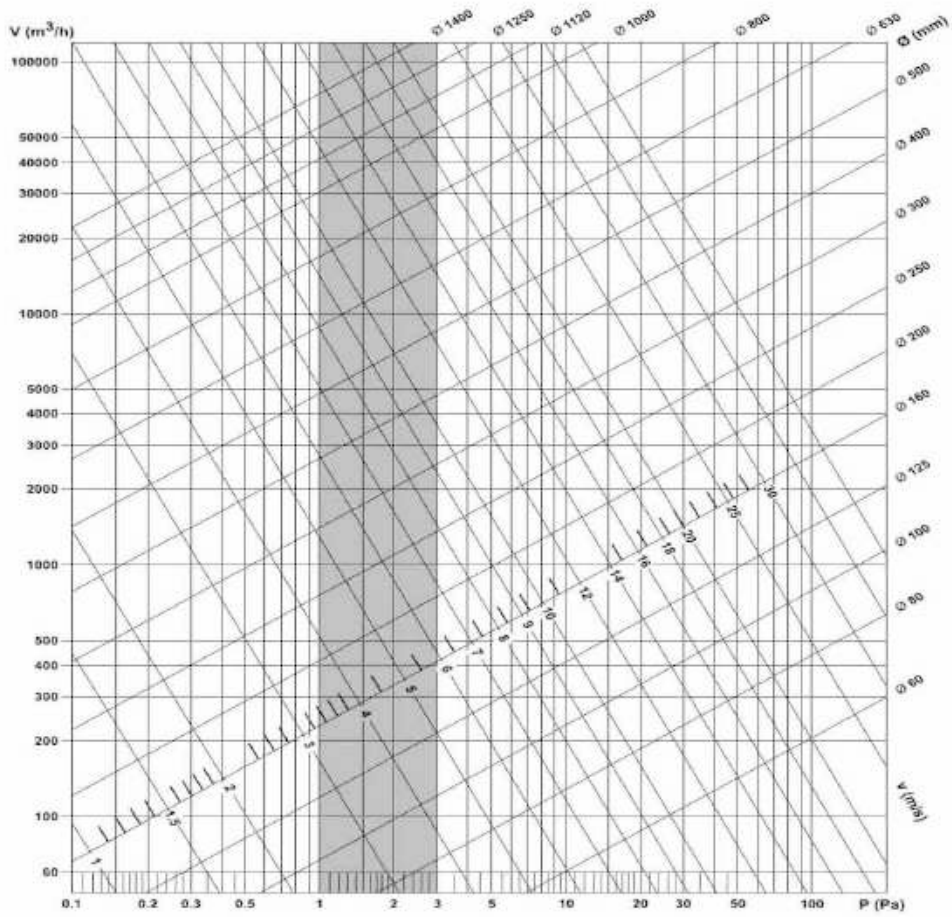
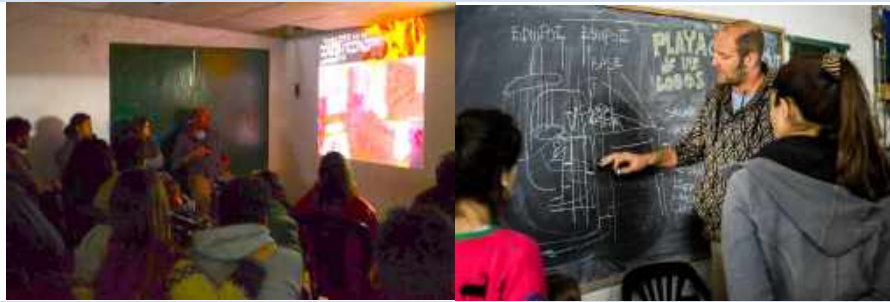


Gráfico 11. Pérdida de carga en conductos. Método de la pérdida de carga unitaria

Tabla 44. Imágenes del taller de Construcción de estufa Rocket e intercambiador de calor en B° Playa los Lobos



1. Curso de introducción a estufa Rocket y primeros bocetos de intercambiador.



2. Preparación de la mezcla de barro.



3. Construcción de primera etapa de estufa. Cámara de combustión y torreta



4. Construcción de banco de masa y colocación de tambor



5. Instalación de cañerías y aislamiento



6. Finalización de resguardo de tambor y estufa finalizada



7. Instalacion de intercambiador de calor



8. Equipo de trabajo e integrantes del taller

Tabla 44. Imágenes del taller de Construcción de estufa Rocket e intercambiador de calor en B° Playa los Lobos

Bibliografía

- Battro, P. (1994). *Estufa a leña de alto rendimiento*. Trelew: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Alberto, N., Lambert, A., Tejerina, D., Dabbah, F., Ogara, M., Tedesco, M., y otros. (2014). *SARA Estufa social argentina de alto rendimiento : manual para autoconstructores*. San Martín : Instituto Nacional de Tecnología Industrial.
- Galiano, M., & Marchisio, V. (2015). *Estufa Rocket Manual para la construcción*. Santa Fe: Nixis innovation.
- Evans, I., & Jackson, L. (2006). *Rocket mass heaters: Superefficient woodstoves you can build*. Oregón : Cob Cottage .
- Styer, O. (2014). *La Estufa Maya Petén: Diseño y construcción de una estufa de leña para cocinar*. Barcelona: ITACA Appropriate Technology.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010*. Buenos Aires: 2012 INDEC.
- Incropera, F., & De Witt, D. (1999). *Fundamentos de la transferencia de calor*. México: Prentice Hall.
- Nelia González, F., & Bedoya frutos, C. (1997). El comportamiento térmico y la inercia térmica de las fábricas con bloques Termoarcilla. *NA*, 63-76.
- Viegas, G., Walsh, C., & Barros, M. (2016). Evaluación cuali-cuantitativa de aislaciones térmicas alternativas para viviendas. El caso de la agricultura familiar. *Revista INVI*, 89-117.
- Agencia Internacional de Energía (IEA). (01 de 01 de 2006). *World Energy Outlook*. Recuperado el 28 de 05 de 2019, de World Energy Outlook: <http://www.worldenergyoutlook.org>
- Naciones Unidas. (11 de 01 de 2016). *Naciones Unidas*. Recuperado el 28 de 05 de 2019, de Naciones Unidas: <https://www.un.org/es/index.html>
- Maderea. (16 de 05 de 2017). *Maderea*. Recuperado el 13 de 07 de 2019, de Madera y Fuego: <https://www.maderea.es/maderayfuego/>
- Pastormelo, J., & Souza, E. (20 de 08 de 2013). *Aprovechamiento de la masa térmica del hormigón para la construcción de viviendas sostenibles*. Recuperado el 14 de 07 de 2019, de www.actualizarmiweb.com: <http://www.actualizarmiweb.com/sites/icpa/publico/Plataforma%20Hormigon/masa%20termica.pdf>
- Kevin Daniel Mirallas Secaira, P. D. (2015). *Diseño de una Máquina Cortadora por Plasma CNC*. GUAYAQUIL - ECUADOR: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL .
- Palacios, D. E. (2017). *DISEÑO Y SIMULACION DE UN PANTOGRAFO A PLASMA*. Quito: Universidad Internacional SEK, Facultad de Ingeniería Mecánica.
- OXGASA. (2009). *Manual del soldador*. San Salvador.
- Nanami, A. (2014). *SARA Estufa social argentina de alto rendimiento : manual para autoconstructores*. San Martín: Sebastián Pérez .

Gonzalez, I. B. (5 de 11 de 2017). *MdPYA*. Recuperado el 9 de 10 de 2019, de Locales: <https://www.mdpya.com.ar/el-rol-de-nuestras-sociedades-de-fomento/>

Vettrano, B., Carlino, M., & Rosati, S. (04 de 05 de 2016). *CECU*. Recuperado el 10 de 06 de 2019, de Chimeneas térmicas: <https://cecu.es/campanas/medio%20ambiente>

Asociación Colombiana del Petróleo. (17 de 01 de 2014). *ACP*. Recuperado el 8 de 10 de 2019, de ACP: <https://acp.com.co/web2017/es/>

Fundación Chile Ministerio de Energía. (5 de 6 de 2014). *Aprende con energía*. Recuperado el 17 de 10 de 2019, de Educarchile: <https://www.aprendeconenergia.cl>

Kahanacademy. (08 de 05 de 2017). *Kahanacademy*. Recuperado el 17 de 10 de 2019, de Kahanacademy: es.kahanacademy.org

DeutscheWelle. (15 de 10 de 2019). Recuperado el 19 de 10 de 2019, de DW made for minds: <https://www.dw.com>

CEPAL. (30 de 11 de 2018). *CEPAL*. Recuperado el 19 de 10 de 2019, de CEPAL: <https://www.cepal.org>

Wilson, F. R. (1995). *Bicycling science*. Londres: The MIT Press.

Metalurgia Aplicada y Materiales. (2016). *Objetos Aceros al Carbono y de Construcción*. Mar del Plata: Propia.

Tecología en Soldadura. (26 de 07 de 2019). *Tecnologías en Soldadura*. Recuperado el 10 de 28 de 2019, de <https://tecnologiasensoldadura.com.mx>

Hypertherm. (10 de 08 de 2015). *PROYEQ*. Recuperado el 29 de 10 de 2019, de Hypertherm: <https://www.hypertherm.com>

Manek. (2018). *Manek*. Recuperado el 03 de 11 de 2019, de <http://maneklaexports.com>

García San José, R. (2006). *Ventilaciones de viviendas con calderas individuales a gas*.

INTA. (2010). *Consumo de leña y/o carbon de madera como combustible para la cocion de alimentos en hogares argentinos*.

Gerhart, P. (1995). *Fundamentos de Mecánica de Fluidos*. Addison Wesley Iberoamericana.

Churchil, S. W., & Chu, H. H. (1975). Correlating Equations for Laminar and Turbulent Free Convection from a Vertical Plate. *Int. J. Heat Mass Transfer*.

Di Ruscio, N., & Bertinat, P. (2018). *ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DE ESTUFA ROCKET CON LEÑA DURA Y BLANDA*. Observatorio de Energía y Sustentabilidad. Facultad Regional Rosario, Universidad Tecnológica Nacional.

Magic-marker. (04 de 04 de 2015). Recuperado el 10 de 09 de 2019, de [magicmarkers: https://www.magicmarkers.tv](https://www.magicmarkers.tv)

Ministerio de planificación federal inversión pública y servicios. (4 de 4 de 2016). *encuentro*. Recuperado el 12 de 10 de 2019, de <http://encuentro.gob.ar>