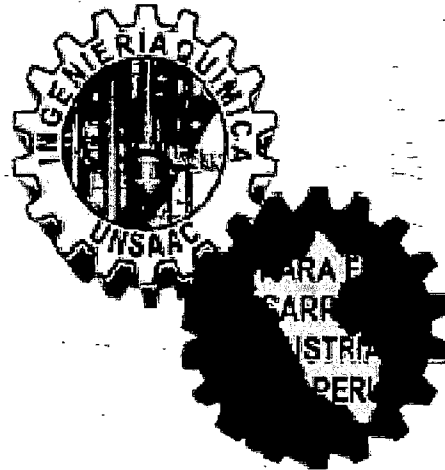


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

**"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA COCINA RURAL
EN FORMA DE "L"**
(Investigación Tecnológica)

PRESENTADO POR:

BACH. EDWIN USCA ABAL.

Para optar al Título Profesional de:

INGENIERO QUÍMICO.

ASESOR: Dra. Ing. AMANDA ROSA MALDONADO FARFAN.

COASESOR: Ing. ATILIO MENDIGURE SARMIENTO

TESIS FINANCIADA POR LA UNSAAC

**CUSCO – PERU
2015**

PRESENTACIÓN

SEÑORA DECANO DE LA FACULTAD DE PROCESOS.

SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO.

De conformidad con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos vigente, y con el fin de Optar al Título Profesional de INGENIERO QUIMICO, presento a vuestra consideración la tesis intitulada:

“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA COCINA RURAL EN FORMA DE “L” ”
(Investigación Tecnológica)

El cual tiene el objetivo de proponer una alternativa tecnológica, con el fin de ahorrar leña y mitigar las emisiones de gases contaminantes.

Cusco, Setiembre de 2015

Br. Edwin Usca Abal

AGRADECIMIENTOS

Por su tiempo y valiosa colaboración mediante entrevistas y facilidades para el desarrollo del presente estudio.

- Dra. Ing. Amanda Rosa Maldonado Farfán
Asesora del presente trabajo de investigación
- M.Sc. Miriam Salas Pino
Docente principal de la Carrera Profesional de Ingeniería Química
- Ing. Químico Atilio Mendigure Sarmiento.
Laboratorio de Materiales de Ingeniería Química UNSAAC
- Ing. Químico Julio Washington Lechuga Canal
Docente principal de la Carrera Profesional de Ingeniería Química
- M.Sc Fisco. Julio Lucas Warthon Ascarza
Docente principal de la Carrera Profesional de Física.
- Al Consejo de Investigación de la UNSAAC, por el apoyo económico percibido en esta tesis.

A LOS AMIGOS

- ING. Químico Hugo Morales Tito
- ING. Químico Walther Jorge Paucar

DEDICATORIA

Quiero dedicarle este trabajo de investigación a la Santísima cruz “Señor de Torrechayoc”, que me ha dado la vida y fortaleza para terminar este proyecto. A mis padres Francisco de Paula Usca Oraica, Francisca Abal Flores, cuyo afecto y comprensión han sido mi aliciente, a mis hermanos Edgar, Roxana, Ever, Milton, Rosarela, a mis sobrinos(as) Deily, Mijael, Mari cielo, Siwar, por su incondicional apoyo.

EDWIN

CONTENIDO

HOJA DE TÍTULO.....	i
PRESENTACIÓN.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
CONTENIDO.....	v
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xi
CAPITULO I.....	1
1.1 INTRODUCCION.....	1
1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA.....	2
1.3 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA.....	2
1.4 ANTECEDENTES.....	3
1.5 OBJETIVOS.....	4
1.6 HIPOTESIS.....	4
CAPITULO II.....	5
MARCO TEORICO.....	5
2.1 COCINA.....	5
2.1.1 COCINA DE TRES PIEDRAS.....	5
2.1.2 COCINA TRADICIONAL (FOGON).....	5
2.1.3 COCINA MEJORADA.....	7
2.2 COMBUSTION.....	15
2.2.1 COMBUSTIBLES SOLIDOS.....	15
2.2.2 FENOMENO DE LA COMBUSTION DE LA LEÑA.....	18
2.2.3 TIPOS DE COMBUSTION.....	19
2.3 CALOR.....	20
2.3.1 CALOR SENSIBLE.....	20
2.3.2 CALOR LATENTE.....	21
2.4 MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	21
2.5 ARCILLA.....	25
2.5.1 DEFINICION DE ARCILLA.....	25
2.5.2 CLASIFICACION.....	26
2.6 MINERAL SILICE.....	26
SILICE DE LAMPA (PUNO).....	26

2.7.	ELIMINACION DEL AGUA DURANTE LA COCHURA	28
2.8.	ACCION DEL CALOR SOBRE LAS ARCILLAS.....	28
2.9.	PRUEBA DE EBULLICON DEL AGUA.....	29
2.10.	FORMULAS USADAS PARA LA EVALUACION POR LA PEA, EN COCINAS MEJORADAS ..	30
2.11.	FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS DE LA PEA.....	32
CAPITULO III.....		33
MATERIALES Y METODOS.....		33
3.1	MATERIALES E INSTRUMENTOS DE MEDICION.....	33
3.1.1.	MATERIALES.....	33
3.1.2.	INSTRUMENTOS DE MEDICION	33
3.1.3.	EQUIPOS.....	34
3.2	METODOLOGIA DEL DISEÑO DE LA COCINA MEJORADA.....	34
3.2.1	DISEÑO DE LA CAMARA DE COMBUSTION EN FORMA DE "L"	34
3.2.2.	DISEÑO DE LA PARRILLA METALICA.....	38
3.2.3.	ALTURA DE LA OLLA CON RESPECTO A LA BOCA DE LA CAMARA DE COMBUSTION; Gc	38
3.2.4.	SELECCIÓN DE LA ALTURA DE LA CAMARA DE COMBUSTION	38
3.2.5.	OBTENCION DEL MATERIAL PARA LA CAMARA DE COMBUSTION	40
3.2.6.	CONSTRUCCION DE LA CAMARA DE COMBUSTION.....	47
3.2.7.	DISEÑO Y MONTAJE DE LA PARTES MENORES DE LA COCINA MEJORADA	51
3.2.8.	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LAS CHAQUETAS MOVILES.....	54
3.2.9.	DISEÑO DE LA CHIMENA	56
3.2.10.	DETERMINACION DEL GAP ÓPTIMO.....	57
3.2.11.	BALANCE DE MASA Y ENERGIA EN LA COCINA MEJORADA	60
3.2.12.	COMPARACION DE LA COCINA MEJORADA PROPUESTA CON LA COCINA TRADICIONAL (FOGON), DE LA PROVINCIA DE URUBAMBA.....	65
CAPITULO IV.....		68
RESULTADOS Y DISCUSION		68
4.1	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA CAMARA DE COMBUSTION EN FORMA DE "L"	68
4.1.1.	SELECCIÓN DE LA ALTURA INTERIOR DE LA CAMARA DE COMBUSTION	68
4.1.2.	CAMARA DE COMBUSTION	73
4.1.3.	DISEÑO DE LA PARRILLA METALICA	79
4.2.	DISEÑO Y MONTAJE DE LA COCINA MEJORADA PROPUESTA	80
4.2.1.	CUERPO DE LA COCINA MEJORADA	81
4.2.2.	CALCULO DEL ESPESOR DEL AISLANTE.....	81
4.3.	MONTAJE DE LA CAMARA DE COMBUSTION EN LA CARCASA METALICA	83
4.4.	CONSTRUCCION DE DISCOS METALICO Y CERAMICO	83
4.5.	CONSTRUCCION DE CHAQUETAS MOVILES METALICAS	84
4.6.	CONSTRUCCION DE LA CHIMENEA	85

4.7.	DETERMINACION DEL GAP ÓPTIMO PARA LA COCINA MEJORADA	87
4.8.	BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA EN LA COCINA MEJORADA.....	93
4.8.1.	BALANCE DE MATERIA PARA EL FENOMENO DE LA COMBUSTION	93
4.8.2.	BALANCE DE ENERGIA EN LA COCINA MEJORADA.....	98
4.9.	BALANCE DE ENERGIA DE GANANCIAS Y PERIDAS	101
4.10.	EFICIENCIA DE LA COMBUSTION.....	103
4.11.	EVALUACION DE UNA COCINA TRADICIONAL (FOGON), EN LA PROVINCIA DE URUBAMBA	103
4.12.	COMPARACION DE LA COCINA MEJORADA CON LA COCINA TRADICIONAL.....	105
4.12.1.	CUERPO DE LA COCINA.....	105
4.12.2.	CAMARA DE COMBUSTION.....	106
4.12.3.	COMPARACION EN FUNCION DE LA PEA	107
4.13.	DESCRIPCION DE LAS PARTES DE LA COCINA MEJORADA.....	110
	CONCLUSIONES.....	112
	SUGERENCIAS.....	113
	BIBLIOGRAFÍA	114
	TESIS	115
	ARTICULOS Y PUBLICACIONES.....	116
	PAGINAS WEB	117
	APÉNDICES.....	120
	ANEXOS	127
	PLANOS.....	130

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla N° 2.1.Efectos de la emisión de gases de efecto invernadero con el uso de leña en cocinas tradicionales.....	7
Tabla N° 2.2.Poder calorífico y humedad de la leña.....	16
Tabla N° 2.3. Análisis elemental de la leña de eucalipto.....	17
Tabla N° 2.4. Análisis elemental de la bosta de vaca	17
Tabla N° 2.5.Conductividad térmica bibliográfica para la arcilla y ladrillos.....	23
Tabla N° 2.6. Valores aproximados del coeficiente de calor convectivo.....	24
Tabla N° 2.7. Análisis químico, mineralógico y físico de la arcilla de San Jerónimo.....	26
Tabla N° 2.8. Análisis químico del mineral sílice.....	27
Tabla N° 2.9. Propiedades del mineral sílice.....	27
Tabla N° 3.1.Dimensiones del molde de la cámara de combustión.....	36
Tabla N° 3.2. Características de la cámara de combustión madre seca.....	37
Tabla N° 3.3. Evaluación de las variables para las cámaras de combustión.....	40
Tabla N° 3.4. Porción de la mezcla en masa de la arcilla y sílice.....	41
Tabla N° 3.5. Características del molde de madera para las placas cerámicas.....	42
Tabla N° 3.6. Medición de las temperaturas Vs tiempo.....	46
Tabla N° 3.7. Evaluación de los diferentes GAP.....	60
Tabla N° 4.1. Características de las cámaras de combustión.....	68
Tabla N° 4.2. Variables calculadas para las cámaras de combustión.....	72
Tabla N° 4.3. Dimensiones interiores y contracciones: cámara de combustión.....	73
Tabla N° 4.4. Temperatura Vs tiempo para la prueba 1.....	74
Tabla N° 4.5. Distancia de huecos para los termómetros.....	75
Tabla N° 4.6. Diferencia de temperaturas, respecto a la fuente de calor para la prueba 1	75
Tabla N° 4.7. Temperatura Vs tiempo para la prueba 2.....	77
Tabla N° 4.8. Diferencia de temperaturas para la prueba 2.....	78
Tabla N° 4.9. Características de la parrilla metálica.....	80
Tabla N° 4.10. Datos originados para la evaluación del GAP= 1 cm.....	88
Tabla N° 4.11. Variables calculadas de la PEA, para el GAP= 1cm.....	90
Tabla N° 4.12. Datos originados para la evaluación del GAP= 1.5 cm.....	92
Tabla N° 4.13.Variables calculadas de la PEA, para el GAP= 1.5 cm.....	92
Tabla N° 4.14. Promedio de las pruebas para GAP=1 cm.....	94
Tabla N° 4.15. Masa de los componentes de la leña.....	94
Tabla N° 4.16. Composición del aire.....	95
Tabla N° 4.17. Resumen del balance de masa para la leña.....	97
Tabla N° 4.18. Balance de energía en la cocina mejorada.....	102
Tabla N° 4.19. Datos originados para la evaluación de la cocina tradicional.....	104

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 2.1. Modelos de cocinas mejoradas en el Cusco.....	10
Figura N° 2.2. Parrilla metálica para una cámara de combustión cuadrada.....	11
Figura N° 2.3. Partes de la cocina mejorada.....	12
Figura N° 2.4. Local de venta de leña de eucalipto.....	16
Figura N° 2.5. Sistema radiales-cilindros.....	22
Figura N° 2.6. Sistema de Paredes compuestas.....	23
Figura N° 2.7. Formulario de la PEA.....	32
Figura N° 3.1. Arcilla de San Jerónimo.....	34
Figura N° 3.2. Partes del molde metálico.....	35
Figura N° 3.3. Moldeado de la cámara de combustión madre.....	36
Figura N° 3.4. Cámara de combustión madre seca.....	37
Figura N° 3.5: Cámara de combustión 3. Con vista de la parrilla metálica.....	39
Figura N° 3.6: Pesado de materias primas.....	42
Figura N° 3.7: Moldeado de la mezcla arcilla mineral Sílice.....	43
Figura N° 3.8. Curva de cocción en la fabricación de ladrillos comerciales.....	44
Figura N° 3.9: Placa muestra y aislamiento correspondiente.....	45
Figura N° 3.10: Instrumentos usados en la prueba.....	45
Figura N° 3.11. Proceso del moldeado de la cámara de combustión.....	48
Figura N° 3.12. Cámara de combustión seca.....	48
Figura N° 3.13. Curva de cocción de la cámara de combustión.....	49
Figura N° 3.14. Cámara de combustión des pues del proceso de cocción.....	50
Figura N° 3.15. Diagrama de flujo cualitativo en bloques para la fabricación de la cámara de combustión	50
Figura N° 3.16. Ladrillo cerámico aislante.....	52
Figura N° 3.17. Carcasa metálica con soporte para la olla.....	53
Figura N° 3.18. Configuración de la chaqueta exterior con la olla.....	54
Figura N° 3.19. Balance entre eficiencia térmica y energía aprovechada por la olla en función al GAP y profundidad del alojamiento, dimensionada para cocinas domésticas.....	55
Figura N° 3.20. Diagrama de flujo cualitativo del balance de masa en la cocina mejorada.....	61
Figura N° 3.21. Diagrama de flujo cualitativo del balance de energía en la cocina mejorada	62
Figura N° 3.22. Balance de energía en cocinas a fuego abierto.....	65
Figura N° 3.23. Fogón tradicional.....	66
Figura N° 3.24. Esquema de la cocina tradicional.....	67
Figura N° 4.1. Cámaras de combustión.....	68
Figura N° 4.2 Termocupla dentro de la olla.....	69

Figura N° 4.3. Temperaturas registradas en la determinación de la conductividad térmica.....	74
Figura N° 4.4. Temperatura Vs distancia, prueba 1.....	76
Figura N° 4.5. Temperatura Vs distancia, prueba 2.....	77
Figura N° 4.6. Diagrama para el cálculo del ancho de la parrilla metálica.....	79
Figura N° 4.7. Parrilla metálica.....	80
Figura N° 4.8. Cuerpo metálico de la cocina mejorada.....	81
Figura N° 4.9. Configuración de la cámara de combustión, aislante y carcasa.....	82
Figura N° 4.10. Cámara de combustión y componentes.....	83
Figura N° 4.11. Disco metálico y boca de la cámara de combustión.....	84
Figura N° 4.12. Chaquetas metálicas con diferentes GAP.....	85
Figura N° 4.13. Chaqueta interior y, exterior y aislante.....	85
Figura N° 4.14. Capucha protectora.....	87
Figura N° 4.15. Curva de calentamiento y ebullición del agua en la olla.....	91
Figura N° 4.16. Diagrama cuantitativo del balance de masa.....	98
Figura N° 4.17. Recorrido de los gases calientes en el interior de la cocina mejorada.....	105
Figura N° 4.18. Cocina mejorada con cuerpo de ladrillo.....	106
Figura N° 4.19. Comparación de la cocina mejorada con la tradicional, 1° fase.....	107
Figura N° 4.20. Eficiencia térmica, cocina mejorada Vs cocina tradicional.....	108
Figura N° 4.21. Calentamiento de la parrilla metálica.....	109
Figura N° 4.22. Comparación de la cocina mejorada con la tradicional, 2° fase.....	109
Figura N° 4.23. Eficiencia térmica, cocina mejorada Vs cocina tradicional.....	110
Figura N° 4.24. Cocina mejorada propuesta.....	111

RESUMEN

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo el de diseñar, construir y operar una cocina mejorada con cámara de combustión e forma de "L", dotado de chimenea, para los sectores rurales de la provincia de Urubamba. El desarrollo del presente trabajo de investigación fue teórico- experimental.

Para el diseño de la cámara de combustión en forma de "L", se construyó una cámara de combustión madre con arcilla de San Jerónimo, a esta cámara se realizó cortes con la finalidad de obtener 3 cámaras con diferentes alturas. A las cámaras de combustión se realizaron pruebas de ebullición del agua PEA , en la 1°, de los cuales se seleccionó la cámara de combustión que arrojó el alto índice de eficiencia térmica y potencia promedio, siendo esta altura interior igual a 27.5 cm .

Para el material de la cámara de combustión, se procedió a obtener un nuevo material consistente en mezcla en masa de arcilla de San Jerónimo con el mineral Sílice de Lampa- Puno, lo cual se determinó la conductividad térmica de la mezcla, usando la ley de Fourier, arrojando un valor de 0.432 W/m-°C.

Para el diseño de la chimenea de la cocina mejorada, considera una altura 2.5 m y un diámetro interno de 12 cm, de material de plancha metálica galvanizada de 1/40" de espesor, con capucha correspondiente.

La cocina mejorada se evaluó con diferentes GAP (1 y 1.5 cm), con el método de la PEA, en sus 3 fases, de lo cual el GAP que arrojó el índice más alto de eficiencia térmica y potencia promedio fue el de 1 cm.

De la evaluación de la cocina mejorada con la PEA, con el GAP de 1cm, la eficiencia térmica fue de 25.74% y potencia promedio de 1.72 kW.

La cocina mejorada se comparó con la cocina tradicional o fogón de la provincia de Urubamba, logrando ahorrar leña la cocina mejorada 64 %.

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCION

La cocina tradicional o fogón es una tecnología tan antigua como el descubrimiento del fuego y la civilización. Los fogones más antiguos que se conocen datan de hace 400 000 (China), Sharma (citado por Westhoff, 1995) a 500 000 años (Europa), Bonifay (citado por Westhoff, 1995).

El arquetipo de fogón que llamamos “tradicional” se desarrolló más o menos según el mismo principio en todo el mundo, en variantes ligadas a las culturas locales y , evidentemente , en distintos momentos históricos. El fogón fue el modelo predominante durante miles de años, hasta el siglo XVIII, Tränkle (citado por Westhoff, 1995), en Europa, mientras que en la áreas rurales en África, Asia y América Latina aún se utiliza hasta nuestros días (Westhoff, 1995).

La construcción de estos fogones tradicionales son con materiales de la zona, en muchos casos de adobe, que para su unión de piezas y la construcción de las hornillas son de barro preparado, que consiste en una mezcla de tierra cernida con paja picada y agua. En tanto para la ubicación del fogón, no se tiene en cuenta la ventilación del lugar además (el cuarto donde está el fogón no cuenta con ventanas ni chimenea), la instalación de estos fogones en la mayoría de los casos es en el piso, que al momento de cocinar causa ciertas molestias por la posición incómoda (dolores de espalda, rodillas). El humo resultante de la combustión por la operación de estos fogones contamina el ambiente donde se cocina, ya que muchos de ellos no poseen chimenea, es por ello el poblador, viene reflejado sus problemas de salud, como las infecciones respiratorias agudas (IRAS) (Torres et al., 2011).

El uso de la leña y bosta o estiércol para cocinar en cocinas tradicionales (más conocida como la de tres piedras), se ha constituido en un problema mundial, el cual se ha visto reflejado en los estudios realizados a nivel mundial, latinoamericano y nacional, a través de los cuales se ha podido verificar los daños y riesgos a la salud que significa la contaminación de los ambientes interiores de una vivienda rural. Así mismo, se ha identificado que la ineficiencia en la combustión en estas cocinas, significa la emisión a la atmosfera de gases de efecto invernadero y otros contaminantes de efectos globales (Quiñones, 2011).

En la actualidad este tipo de fogones tradicionales, instalados al interior de las viviendas, más de ser una solución se ha convertido en un problema, ya que su diseño utiliza mucha leña o bosta para su funcionamiento.

Por esta razón se considera importante desarrollar una cocina mejorada que ahorre leña y que mejore la calidad de vida del poblador del área rural de la provincia de Urubamba.

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

En el Perú por tradición a las instalaciones utilizadas para cocinar los alimentos en las viviendas, se les llama fogones y en el Cusco se las conoce como "Q'onchas", que es una palabra quechua que significa fogón.

Estos fogones, por lo general no tienen eficiencia en el uso de la energía calorífica, la misma que se obtiene quemando leña de la zona, debido a que no cuenta con una cámara de combustión adecuadamente diseñada, ni una chimenea o sistema de extracción de gases (humos) con tiro pertinente, por esta razón, el calor generado por la combustión se desperdicia, calentando lo que no debe calentar en exceso y en los gases calientes liberados sin control, demandando un mayor consumo de leña.

La ausencia de una chimenea condiciona la presencia de humo en la cocina, provocando con mucha frecuencia enfermedades respiratorias en los habitantes del hogar.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

El diseño mejorado en forma de "L" de la cámara de combustión y la dotación de una chimenea con tiro adecuado a los fogones tradicionales de los hogares de las zonas rurales de la Provincia de Urubamba, permitirá: ¿Ahorrar combustible?

1.3 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

La implementación de una cocina a leña, con diseño mejorado en forma de "L" y provisto de una adecuada chimenea, permitirá un menor consumo del combustible, una cocción rápida de los alimentos y un mejor ambiente para los habitantes de las zonas de la región Cusco, que los gases provenientes de la combustión incompleta de la leña, se evacue hacia el exterior y reduzca la enfermedades respiratorias. El menor consumo de leña, también significa ahorro en la economía de los habitantes y por tanto, mejora en la calidad de vida de estas personas.

Por tanto, la realización de este trabajo de investigación científico-tecnológico, está justificada y demostrada su importancia, al constituir un aporte tecnológico desde la Universidad para los sectores marginales de nuestra sociedad, y al tener un impacto positivo sobre el medio ambiente y la economía de las familias rurales.

1.4 ANTECEDENTES

- Álvarez H. 2007. "ESTUDIO DE COCINAS MEJORADAS EMPLEANDO LEÑA Y BOSTA COMO COMBUSTIBLE", Pontifica Universidad Católica del Perú, Lima, trabajo de tesis. Realizo un estudio de cocinas mejoradas empleando leña y bosta como combustible. Para el estudio se construyó 05 cocinas mejoradas en el Laboratorio de Cocinas Mejoradas de la PUCP, con ollas de aluminio con 30 cm de diámetro exterior, para la olla principal y 20 cm de diámetro para la olla secundaria (las ollas están sumergidas), con diferentes cámaras de combustión, chimenea y parrilla metálica, la evaluación de las cocinas mejoradas, fue con la Prueba de Ebullición del Agua. Concluyendo que la cocina mejorada con cámara de combustión en forma de "L", es la que arroja mayor índice de eficiencia (30 %), menor consumo específico de combustible, menor tiempo de ebullición para una distancia radial olla-chaqueta (GAP)=1 cm, la distancia recomendada de la altura del lecho del combustible a la base de la olla, está entre 20 a 30 mm.
- Torres et al. 2011. "DISEÑO, CONSTRUCCION Y EVALUACION DE UNA COCINA MEJORADA CON INTERCAMBIADOR DE CALOR", Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman, Tacna, trabajo de investigación. Diseñaron, construyeron y evaluaron una cocina mejorada con intercambiador de calor, La cámara de combustión de esta cocina tiene la forma de "L" y está diseñada para 3 ollas (las ollas están sumergidas), con horno, la cocina mejorada cuenta con un horno, el intercambiador de calor está ubicado en el interior de la chimenea. Para la evaluación de la cocina mejorada, fue con la Prueba de la ebullición del agua, concluyendo que la eficiencia térmica de la cocina mejorada con horno e intercambiador es del 47.3%.
- Assureira E. y Assureira M. 2007. "DISEÑO, EVALUACIÓN Y PROGRAMA DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA DE DOÑA OLGA ": UNA COCINA INSTITUCIONAL MEJORADA, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, trabajo presentado para el 8° congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, llevado a cabo en Cusco del 23 al 25 de Octubre de 2007 .Diseñaron y evaluaron una cocina mejorada portátil Doña Olga, "una cocina institucional", con una olla(la olla está sumergida), esta cocina fue para las personas trabajadoras de los comedores populares del PRONAA. Cuya cámara de combustión tiene la forma de "L", para la evaluación de la cocina mejorada Doña Olga, fue por la Prueba de ebullición del agua, concluyendo que la eficiencia térmica de la cocina mejorada es de 36% para ollas de mayor tamaño (N° 50), cuando la distancia radial olla-chaqueta (GAP), es menor e igual a = 15 mm.

1.5 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar, construir una cocina rural en forma de "L".

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar y construir la cámara de combustión en forma de "L"
- Diseñar la chimenea de la cocina mejorada a leña.
- Determinar la distancia radial olla chaqueta (GAP), para la cocina mejorada

1.6 HIPOTESIS

Mejorando el diseño de la cámara de combustión en forma de "L", con chimenea de tiro adecuado de los fogones tradicionales de los hogares rurales, permite ahorrar combustible, aumentar la velocidad de la cocción de los alimentos.

CAPITULO II MARCO TEORICO

2.1 COCINA

La definición de cocina para Baldwin (1987), es .Dispositivo que sirve para cocinar, usando leña como combustible

La cocción de los alimentos es una técnica antigua, que puede relacionarse con el principio del manejo del fuego por los humanos. Sobre el fuego que servía para calentar y alejar las fieras, se fue gestando el modo de mejorar la textura, el sabor y el aspecto de los alimentos usados por lo humanos, además de mejorar la digestibilidad de mucho de ellos.

Se distinguen 3tipos de cocinas, y es tos son.

- Cocina de tres piedras
- Cocina tradicional o fogón
- Cocina mejorada.

2.1.1 COCINA DE TRES PIEDRAS

La cocina de tres piedras es el tipo de cocina más frecuente en las zonas donde se utiliza leña como combustible, se adecua en un lugar seco con tres piedras de similar tamaño dispuesto en un triángulo equilátero, de tal forma entre piedra y piedra que un espacio para el suministro de leña(Heising K., 2005)

2.1.2 COCINA TRADICIONAL (FOGON)

La cocina tradicional o fogón es un dispositivo, donde se cocinan los alimentos, su diseño y construcción varían según los materiales de la zona de Urubamba, principalmente el adobe, piedra, barro preparado, en la zona alto andina construida principalmente con adobe, son equipos de baja eficiencia térmica 8% (Baldwin, 1987), y alto consumo de leña, sus riesgos de operar estos equipos están asociados en sufrir quemaduras, contaminación del aire interior, ya que carecen de chimenea que evacue los gases producto de la combustión, al exterior.

En el Perú y en particular en la zona andina de Urubamba, a las cocinas o fogones tradicionales se les nombra como el término de Q'oncha.

A) MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DE LOS FOGONES TRADICIONALES

Los materiales de construcción de los fogones tradicionales son en parte propios de la zona como su accesibilidad y bajos costos, el material usado para el cuerpo y la cámara de combustión es el adobe, para la unión de las piezas y

para el formado de las hornillas se usa barro preparado, que consiste en una mezcla de tierra cernida con paja picada o excremento de caballo o de burro, todos estos componentes se mezclan con agua, para su mayor consistencia el barro preparado suelen agregarle agua de gigantón (*Trichocereus Cuzcoensis*)

B) EFECTOS SOBRE LA SALUD, POR EL USO DE FOGONES TRADICIONALES

La combustión de la leña en fogones abiertos se da de manera incompleta e incontrolada y genera por ello, una gran cantidad de partículas y de gases contaminantes. En el interior de las viviendas particularmente en donde se cocina, ocurre la mayor exposición a estos contaminantes, siendo las mujeres y los niños los más expuestos por pasar la mayor parte del tiempo habitación, Albalak (citado por Westhoff, 1995).

Por otra parte la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que más de tres mil millones de personas utilizan biomasa como combustible para satisfacer sus necesidades básicas de energía tales como para cocinar (OMS, 2007). A consecuencia de la exposición a las emisiones producidas por la combustión de la biomasa, mueren al año alrededor de 1.5 millones de personas, principalmente mujeres y niños (OMS, 2007). La combustión incompleta de la madera en fogones abiertos genera gases y partículas. En el caso de estas últimas, de la fracción respirables de partículas menores a 10 micras (PM_{10}), se registran concentraciones en el intervalo de 300 a 3 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en países de África, Asia y América Latina, Smith et al., 1994, (citado por Quiñones, 2011), y se pueden llegar a niveles por arriba de 10 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (OMS, 2002), lo cual se encuentra al origen de una serie de enfermedades respiratorias. La combustión incompleta de la leña da lugar a productos tales como el monóxido de carbono (CO), benceno, butadieno, formaldehído, hidrocarburos poliaromáticos, y muchos otros compuestos peligrosos para la salud. Se piensa que el mejor indicador de peligro para la salud causado por el humo son las pequeñas partículas que contienen muchas sustancias químicas (OMS, 2007).

Por otra parte el Ministerio del Ambiente señala los impactos al ambiente ocasionados por el uso de cocinas tradicionales, teniendo en cuenta el uso promedio de leña de una familia de una zona rural, lo que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla N° 2.1. Efectos de la emisión de gases de efecto invernadero con el uso de leña en cocinas tradicionales

Acción	Impacto
Deforestación Quema de biomasa	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 1 cocina tradicional consume 10 kg /leña/día ➤ 1 kg de leña emite 1.8 kg de CO₂ ➤ 1 cocina tradicional emite 18 kg de CO₂/día ➤ 1 cocina tradicional emite 6.6 TM de CO₂ / año
Contaminación del aire interior	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Concentraciones de material particulado que superan 100 o más veces los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), para el aire ➤ Existe mayor riesgo de sufrir enfermedades respiratorias, del corazón, oculares, cáncer, bajo peso al nacer. ➤ La quema de leña emite dioxinas y furanos, sustancias carcinogénicas.
Uso indiscriminado de los recursos forestales como combustible, ocasionando	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Deforestación ➤ Erosión del suelo ➤ Contaminación del agua ➤ Perdida del fertilidad del suelo ➤ Desertificación

Fuente: MINAM, 2011. Foro Internacional de Calidad de Aire Interior Lima PCIA, 2011.

2.1.3 COCINA MEJORADA

Es una maquina térmica que extrae eficazmente el humo generado de la combustión de la leña con el aire del interior de la cocina hacia el exterior, reduciendo la cantidad de leña y tiempo en preparar sus alimentos, de esta forma mitigando la tala excesiva de árboles y la reducción de enfermedades respiratorias agudas (IRAS) y las enfermedades pulmonares crónicas (EPC), (Proyecto NINA, 2011).

Las cocinas a leña son dispositivos que permiten cocinar con leña, carbón o estiércol, permitiendo un ahorro significativo del material que queman (leña). A través de una cámara de combustión, el calor se concentra y el humo es dirigido a través de una chimenea hacia fuera, evitando que se quede dentro de las viviendas. En el Perú cocinar con leña de eucalipto es una forma tradicional de preparar los alimentos en buena parte del área rural (Assureira E. y Assureira M., 2007).

Por otra parte el Reglamento para la Evaluación y Certificación de la Cocina Mejorada de SENCICO, 2009, expone un concepto de cocina mejorada. Cocina mejorada, es aquella que ofrece mejores condiciones de la cocina

tradicional de fuego abierto, menor emisión de humo al interior de la vivienda, menor consumo de combustible que repercute en menor emisión de gases de efecto invernadero y mejores condiciones de seguridad.

MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DE COCINAS MEJORADAS

Los materiales para la construcción de las cocinas mejoradas son:

A) Cámara de combustión

Para la construcción de la cámara de combustión, se usa materiales resistentes al calor (refractario), que según Baldwin (1987), la arcilla cosida ofrece más ventajas que los materiales metálicos, siendo la arcilla cosida el material indicado para la construcción de la cámara de combustión.

B) Parrilla

Es un accesorio de la cámara de combustión, la fabricación de la parrilla es de barras de acero corrugada que para la unión de las mismas es con soldadura autógena.

C) Chaqueta

La chaqueta es la pared que brinda protección a la olla, su construcción es de barro preparado en forma circular, la chaqueta en la mayoría de los casos, es parte del cuerpo de la cocina.

D) Cuerpo

El cuerpo de la cocina mejorada, es la estructura o contenedor de las demás piezas de la cocina mejorada, como son la cámara de combustión, chaqueta, chimenea, soporte de ollas. Para el soporte de las ollas, el material, indicado es las varillas de acero corrugado de construcción.

E) Chimenea

La chimenea es el accesorio más importante de la cocina mejorada su función es de evacuar los gases producto de la combustión de la leña, al exterior. Las chimeneas de las cocinas mejoradas son de plancha metálica rolada o doblada en forma circular, su uso de este material es por la comodidad al momento de instalar, no se rompe, es de una sola pieza. Por otra parte la chimenea también se puede construir a base de ladrillos, adobe, en forma cuadrada.

Cabe indicar que no todas las cocinas mejoradas cuentan con los componentes antes mencionados, hay algunas cocinas mejoradas que no poseen parrilla, tampoco las ollas están protegidas (la olla se coloca sobre la hornilla directamente). La mayoría de las cocinas mejoradas son promocionadas por los Organismo No Gubernamentales, ONGs, como apoyo

en la mejoría de la calidad de vida del poblador, es así que los materiales de la cocina mejorada son de fácil adquisición (adobes, barro preparado, ceniza, ladrillos de construcción).

A) MODELOS DE COCINAS MEJORADAS EN EL CUSCO

En el departamento del Cusco, las cocinas mejoradas son diseñadas e implementadas por las ONG (Organismo No Gubernamental), las cuales se detallan a continuación.

1) COCINA MEJORADA ADRAPERÚ

Esta cocina mejorada es promocionada por la ONG ADRAPERÚ, ha sido implementada en la provincia de Espinar, la cual consta de las siguientes características.

- Está diseñada para 3 ollas en forma de escalera
- El diseño de la cámara de combustión no tiene la forma de "L"
- Cuenta con una compuerta en la puerta para regular el flujo de aire a la cámara de combustión
- Las ollas no son sumergidas
- Cuenta con una chimenea metálica
- Su construcción es con materiales de la zona (adobes, paja, barro mejorado).

2) COCINA MEJORADA EN LA PROVINCIA DE CCAHUAYO

La cocina mejorada del distrito de Ccahuayo, provincia de Quispicanchis, está compuesta de.

- Está diseñada para 2 ollas más un horno para asar algunas carnes
- El diseño de la cámara de combustión no tiene la forma de "L"
- Las ollas no son sumergidas
- Cuenta con una chimenea de material cerámico
- Su construcción es con materiales de la zona (adobes, paja, barro mejorado).

3) COCINA MEJORADA PROMPERÚ

Esta cocina es promocionada por la ONG PROMPERÚ, ha sido implementada en la provincia de Chinchero, la cual consta de las siguientes características.

- Está diseñada para 2 ollas de aluminio
- Las ollas no son sumergidas
- Su cámara de combustión no tiene la forma de "L"

- Cuenta con una chimenea de material cerámico.
- Su construcción es con materiales de la zona.

4) COCINA MEJORADA MODELO INKAWASI TAHUA

Esta cocina mejorada ha sido implementada por el proyecto NINA del Ministerio de Energía y Minas, con el apoyo de la ONG "GIZ". En el año 2011 se instalaron alrededor de 41 000 cocinas mejoradas en las 10 provincias del Cusco, donde las características de esta cocina son.

- Está diseñada para dos ollas de aluminio N° 26
 - Las ollas son sumergidas
 - La cámara de combustión tiene la forma de "L" y es de material cerámico (ladrillo pandereta de 06 huecos),
 - Cuenta con una parrilla metálica
 - La chimenea es de material metálico
- En la figura N° 2.1 se aprecia las cocinas mejoradas antes mencionadas.

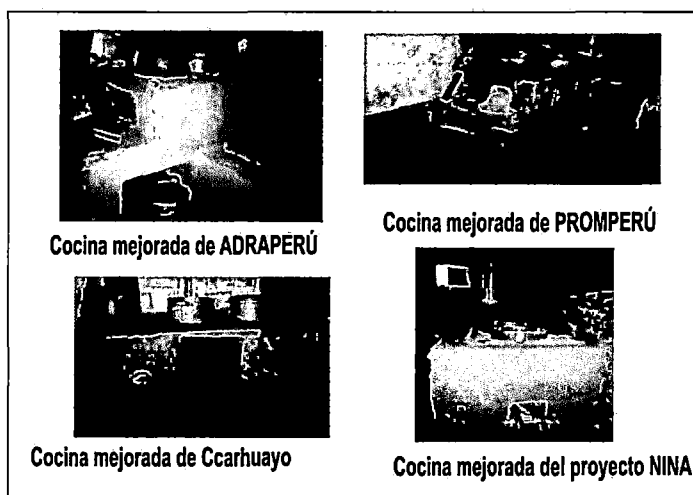


Figura N° 2.1: Modelos de cocinas mejoradas en el Cusco
Fuente: Silva et al., 2007

B) DESCRIPCION DE LAS COCINAS MEJORADAS

Las cocinas mejoradas poseen estas características.

A) PARRILLA

La parrilla es un dispositivo que permite un flujo de aire constante a la cámara de combustión, ya que la leña al entrar en combustión además de producirse calor, se produce carbón y ceniza en diferentes tamaños y formas así

obstaculizando el ingreso de aire a la cámara de combustión. La leña se coloca encima de la parrilla y quedando un espacio en debajo de la parrilla para que aire ingrese con toda normalidad.

El material de construcción de la parrilla es de varillas de acero de construcción corrugado de 3/8", en forma de un catre. (Ver figura 2.2)

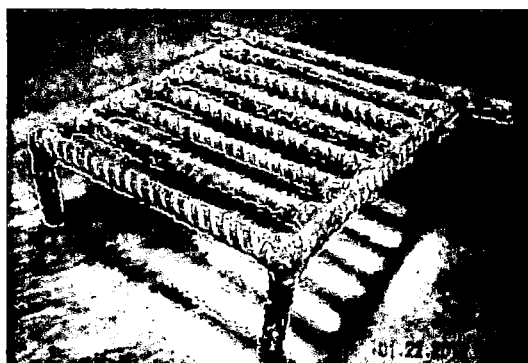


Figura N° 2.2: Parrilla metálica para una cámara de combustión cuadrada.
Fuente: MEM, 2009

B) CAMARA DE COMBUSTION

La cámara de combustión es el recinto donde se produce la combustión de la leña, el diseño de la cámara de combustión es el punto de mayor importancia para el desarrollo de mayor eficacia a la hora de quemar leña, el principio de "Rocket Stove". Este principio consiste en el diseño de la cámara de combustión en forma de "L", esta configuración permite crear una mayor corriente de aire, lo que provee de la cantidad de oxígeno suficiente para lograr una combustión completa y por lo tanto reducidos niveles de emisión sin embargo, para evitar que esta masa de aire frío que ingresa disminuya la temperatura al interior de la cámara de combustión (lo que sería perjudicial para una buena combustión), el aire es forzado a pasar debajo de una parrilla que sostiene al combustible permitiendo su calentamiento gradual. Adicionalmente, las paredes de la cámara de combustión están aisladas para minimizar las pérdidas de calor y con ello mejorar la transferencia de calor por radiación y convección (Assureira E. y Assureira M., 2007).

C) CHAQUETA O FALDA

La chaqueta o falda es una pared que permite crear un espacio entre la olla, su finalidad es de que los gases calientes no se escapen al ambiente y rosen las áreas laterales de la olla, los materiales usados comúnmente en la construcción de la chaqueta o falda es el barro preparado, que consiste en una mezcla de tierra cernida con paja picada y agua.

La figura N° 2.3, muestra la pared o falda de una cocina mejorada

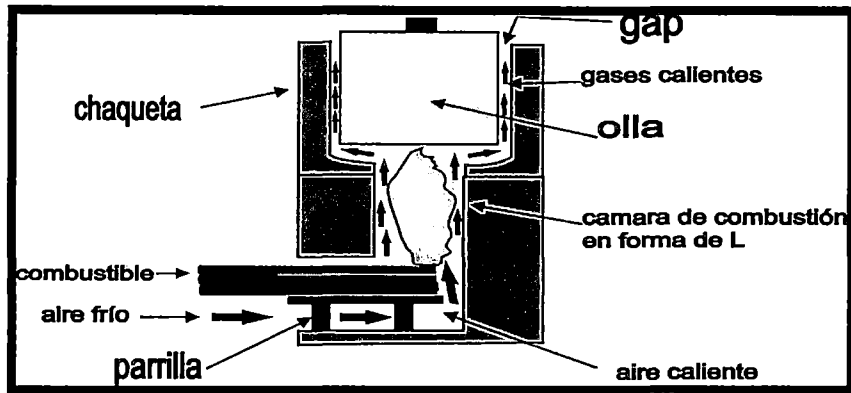


Figura N° 2.3. Partes de la cocina mejorada
Fuente: Assureira E. y Assureira M., 2007

En tanto la olla no se coloca directamente sobre la boca de la cámara de combustión, existe una altura entre la base de la olla y la boca de la cámara de combustión.

Para el cálculo de la altura de la base de la olla con respecto al boca de la cámara de combustión, se hace uso de las ecuaciones citadas por Aprovecho (2006), que dichas ecuaciones se citan a continuación.

A) Calculo del área de la cámara de combustión ($A_{c.c.}$)

$$A_{c.c.} = \pi * r_{c.c.}^2 \quad (2.1)$$

B) Calculo del perímetro de la cámara de combustión ($P_{c.c.}$)

$$P_{cc} = 2 * \pi * r_{c.c.} \quad (2.2)$$

C) Calculo de la altura de la olla con respecto a la boca de la cámara de combustión

$$G_c = \frac{A_{c.c.}}{P_{c.c.}} \quad (2.3)$$

Donde:

$A_{c.c.}$ = Área de la cámara de combustión

$P_{c.c.}$ = Perímetro de la cámara de combustión

G_c = Altura de la olla con respecto a la boca de la cámara de combustión

D) GAP (distancia radial entre la falda y la olla)

Es el espacio entre la olla y la falda, su función es que los gases calientes y el calor rodeen la olla, así aprovechar al máximo el calor generado por la combustión de la leña (ver figura 2.3).

Para calcular la distancia radial entre la olla y la chaqueta (cálculo del gap), se usa las formulas citadas por Aprovecho, 2006, que la secuencia es como sigue.

$$GAP = \frac{A_{c.c.}}{P_{olla}} \quad (2.4)$$

Dónde:

GAP = Distancia radial olla-chaqueta, cm

P_{olla} = Perímetro exterior de la olla, cm.

E) CHIMENEA

La chimenea es el sistema de evacuación de gases de combustión, su construcción es variada se pueden fabricar desde materiales cerámicos (arcilla cocida en forma de tubo), hasta material metálico (plancha metálica rolada o doblada en forma circular).

La chimenea ejerce una influencia en el funcionamiento de las cocinas mejorada, aparte de permitir la salida de gases de combustión, la principal función de la chimenea es la de fomentar el tiro, facilitando la combustión.

La distinta densidad entre los gases calientes que fluyen en el interior de la chimenea y el aire atmosférico determina una diferencia de presión que produce el movimiento de estos gases.

Para el cálculo aproximado de dimensionamiento de las chimeneas se han tomado formulas simplificadas y coeficientes prácticos, que tienen exactitud para los combustibles ordinarios.

1) Sección transversal de la chimenea:

Para la sección del flujo de gases se tiene que por cada 100 kcal /h del combustible quemado se requiere de 1 cm² de sección (HÜTE, 1958).

$$A_{chim} = \frac{\text{cantidad de energía producida}}{100} \quad (2.5)$$

Dónde:

A_{chim} = Área interna de la chimenea, cm

2) Altura de la chimenea:

Para cada área de sección transversal de la chimenea, le corresponde una altura, la cual está calculada en función a la caída de presión óptima (0.02 in H₂O), (Schuhmann R., 1952), realizando un balance de energía en la chimenea, se tiene:

$$H_{chim} * \left(1 - \frac{\rho_{aire}}{\rho_g}\right) + \frac{10 * \Delta P}{\rho_g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 * g} + F - M = 0 \quad (2.6)$$

Donde

H_{chim} = Altura total de la chimenea, m

ΔP = Caída de presión en la chimenea (tiro), cm de H₂O

ΔE_c = Cambio en la energía cinética del gas, m

F = Pérdidas de carga por fricción, m

M = Energía mecánica, m

La velocidad de los gases es constante y no se hace uso de ningún equipo mecánico, entonces.

$$H_{chim} * \left(1 - \frac{\rho_{aire}}{\rho_g}\right) + \frac{10 * \Delta P}{\rho_g} + F = 0 \quad (2.7)$$

Luego:

$$F = \frac{f_f * H_{chim} * V_g^2}{2 * d_{chim} * g} \quad (2.8)$$

$$N_R = \frac{d_{chim} * V_g}{\nu} \quad (2.9)$$

Donde:

H_{chim} = Altura de la chimenea, m

ρ_{aire} = Densidad del aire exterior, kg/m³

ρ_g = Densidad del gas en la chimenea, kg/m³

d_{chim} = Diámetro interno de la chimenea, m

V_g = Velocidad del gas en la chimenea, m/s

g = Aceleración de la gravedad, 9.8 m/s²

F = Ecuación de DARCY para la pérdida de energía debido a la fricción, m

f_f = Factor de fricción de Fanny, adimensional

ν_c = Viscosidad cinemática del gas, m²/s

Para el cálculo de viscosidad cinemática, se hace uso de la fórmula de la Norma Española **UNE-123-001-94**, y es:

$$\nu_c = -6.361 * 10^{-6} + 4.426 * 10^{-8} * T_{mh} + 7.523 * 10^{-11} * T_{mh}^2 \quad (2.10)$$

Donde:

T_{mh} = temperatura media de los humos, K

2.2 COMBUSTION

La combustión es el conjunto de reacciones químicas exotérmicas en las que interviene el oxígeno, produciendo energía aprovechable, luego de que el combustible se calienta hasta la temperatura de ignición.

La temperatura de ignición es aquella a la cual la energía que se genera en la reacción es superior a la energía que se pierde en el ambiente, lo cual permite mantener la combustión. La temperatura de ignición depende de la presión ambiental, del comburente (aire) y del combustible que se emplee. (Miranda, 2002).

2.2.1 COMBUSTIBLES SOLIDOS

La buena o mala combustión del sólido depende de la facilidad del acceso del aire a las diversas partículas del combustible estas deben ser distribuidas uniformemente sobre las superficies de combustión, las principales características de los combustibles sólidos están referidas al poder calorífico, el contenido de materia volátil, contenido de humedad, contenido de cenizas, temperatura de fusión de las cenizas, granulometría y sus características aglomerantes del sólido (Fernández, 1992)

A) LEÑA

La leña es el recurso energético más barato con que puede contar una comunidad por su fácil acceso y por ser barato en comparación con los otros combustibles (gasolina, GLP, petróleo diesel), la leña es el combustible más usado de los sectores rurales del Perú, que representa el 77.4% de las personas que usan leña para cocinar (I.N.E.I.,2008).

Se distinguen dos poderes caloríficos que son normalmente expresados ya sea como poder calorífico bruto, también llamado poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico neto, también llamado poder calorífico inferior (PCI).

El poder calorífico superior (PCS), es definido como la cantidad de calor desprendida en la combustión de un kg de combustible cuando se incluye el calor de condensación del agua que se desprende en la combustión, por tanto en este proceso el combustible es aprovechado en su totalidad por la combustión.

El poder calorífico inferior (PCI), es el calor desprendido en la combustión de un kg de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión no se condensa.

El poder calorífico inferior considera que el vapor de agua contenido en los gases de la combustión no condensa. Por lo tanto no hay aporte adicional del

calor por condensación del vapor de agua, solo se dispondrá del calor de oxidación del combustible.

La diferencia entre el PCS y PCI, es igual al calor de condensación del vapor de agua resultante de la combustión del hidrogeno del combustible. Esta relación se puede considerar aproximadamente (Álvarez, 2009).

$$PCI = 0.9 * PCS \quad (2.11)$$

Dado que en la combustión, el agua resultante en los productos sale en forma de vapor, para uso de diseño y evaluación de cocinas mejoradas en los cálculos se usa el poder calorífico inferior (PCI), (Álvarez, 2009).

La figura N° 2.4 muestra un local típico de venta de leña de eucalipto



Figura N° 2.4. Local de venta de leña de eucalipto

El poder calorífico de la leña se muestra en la tabla N° 2.2.

Tabla N° 2.2 Poder calorífico y humedad de la leña de eucalipto

Ensayo	Leña (eucalipto)	Método de ensayo
Poder calorífico bruto	4 076.2 cal/g	ASTM D 2015
Humedad (base húmeda)	12.74 %	ASTM D 3173

Fuente: Álvarez, 2009

La tabla siguiente muestra un análisis de la leña de eucalipto, que mandó a realizar Álvarez (2009).

Tabla N° 2.3 Análisis elemental de la leña de eucalipto

DESCRIPCION	% EN PESO
Carbono fijo	38.98
hidrogeno	6.98
nitrógeno	0.09
azufre	0.05
oxigeno	53.41*
cenizas	0.49

Fuente: Álvarez, 2009.

*obtenido por diferencia

En tanto para la recolección de la leña son en particular las mujeres y los niños son los principales recolectores de leña como combustible para cocinar, el cual representa el 80% de la energía consumida en los hogares de los países en vías de desarrollo (un 40% en latinoamericana, 60% en África y un 80% en Asia). Las mujeres dedican 1 y 5 horas diarias al suministro de leña (Gil et al., 2008).

B) BOSTA

La bosta es el excremento de los animales bovinos, vacunos, equinos. En tanto la composición de la bosta de vaca, se detalla en la tabla N° 2.4.

Tabla N° 2.4. Análisis elemental de bosta de vaca

Análisis elemental		
Base de Análisis	%	Método de ensayo
Carbono	42.7	ASTM D 3172
Hidrogeno	5.5	ASTM D 3178
Nitrógeno	2.4	ASTM D 3179
Azufre	0.3	ASTM D 3177
Oxigeno	31.3	*
Cenizas	17.8	ASTM D 3174

*Obtenido por diferencia

Fuente: Fuente: Álvarez, 2009.

Observando las tablas N° 2.4 y 2.3, se parecía que la bosta de vaca presenta más cenizas que la leña de eucalipto, debido la densidad, la leña posee una densidad de 0.88 g/cm^3 (Álvarez, 2009), que la bosta de vaca posee una densidad de 0.22 g/cm^3 (Álvarez, 2009). Cuando se usa bosta, la alimentación se realiza con más frecuencia y por consiguiente la acumulación de cenizas en la cámara de combustión es mayor con respecto a la leña de eucalipto, por consiguiente la acumulación de cenizas en la cámara de combustión afectaría a la entrada del aire, útil para la combustión, es por ello el uso de la leña de eucalipto, por ser un combustible de mayor densidad que la bosta de vaca.

2.2.2. FENOMENO DE LA COMBUSTION DE LA LEÑA

La combustión es un fenómeno complejo de oxidación de la leña. Se conoce por combustión toda combinación química de reacción entre dos elementos, combustible y comburente (oxígeno), en condiciones de temperatura adecuada. El fenómeno produce energía en forma de luz y calor, productos de combustión y agua. De allí cualquier tipo de contaminación se puede interpretar como pérdida de la potencialidad de un combustible (Assureira E. y Assureira M., 2007).

A) ETAPAS DE LA COMBUSTION DE LA LEÑA

La combustión de la leña consta de las siguientes partes, descritas por Baldwin, 1987.

a) Fase de calentamiento y evaporación del agua

En la primera fase denominada "Fase de Calentamiento y Evaporación del Agua", el agua residual contenida en la madera se evapora a medida que la cocina calienta, hasta alcanzar la temperatura de pirolisis, aproximadamente 250 °C. Por la pérdida de energía en el inicio del proceso, en suma importancia el contenido de humedad de la leña. Mientras mayor sea el porcentaje de humedad, más demora el proceso de secado y la combustión imperfecta, alargándose el lapso de tiempo durante el cual se emite gases oxidados incompletos al ambiente.

b) Fase de gasificación o pirolisis

La segunda etapa denominada "Fase de Gasificación o pirolisis", en donde tiene lugar el proceso de degradación térmica (pirolisis 250-600 °C) de la estructura molecular de la madera, por lo que químicamente, la madera se descompone en gases volátiles y carbón, proveniente de moléculas orgánicas complejas como lignina, celulosa y hemicelulosa. La madera arde aproximadamente a los 315 °C. El humo es el resultado visible, de la vaporización y condensación de estas moléculas de gases de combustión.

c) Fase de combustion

En la tercera etapa denominada "Fase de Combustión (oxidación)", a medida que progresa el fuego y la mayoría de los gases y alquitranes son vaporizados desde el combustible, este se va transformando en carbón residual (coque), el cual se quema fácilmente generando una incandescencia roja con muy poca llama y en forma limpia, cuando existe suficiente oxígeno presente. El carbón empieza a emitir calor a los 540°C y se quema a

temperaturas 590°C, reduciéndose a una pequeña cantidad de cenizas. En la práctica estas tres fases ocurren simultáneamente. Esto es, los gases del combustible pueden estar generando llama mientras los contornos de los trozos están incandescentes, debido al quemado del coque, ya su vez el agua aún se está evaporando desde el interior del trozo de la madera.

B) COMBUSTION INEFICIENTE DE LA LEÑA

La combustión incompleta ocurre por varias razones, en primera instancia se encuentra la calidad de la leña (% humedad), equipos de combustión ineficiente, tecnologías obsoletas utilizadas para la generación de energía de calefacción y cocción de alimentos. Cada uno de los componentes puede causar por si un efecto negativo en la combustión, también en cualquier forma de combustión.

RAZONES PARA LA COMBUSTION INEFICIENTE

- El alto porcentaje de humedad de la leña, extiende el tiempo correspondiente al proceso de evaporación del agua residual, por ende, el tiempo durante el cual ocurre una combustión imperfecta. Este fenómeno también ocurre después de una nueva carga.
- Al no lograr quemar el humo (gases volátiles) antes de que abandone el hogar del equipo.

Para lograr una combustión eficiente debe existir conciencia en cuanto a la necesidad de acondicionar adecuadamente el combustible leña (% humedad), a través de un buen secado antes de usarlo, reduciendo así a la mitad del consumo. En segundo lugar remplazando las tecnologías obsoletas que aún se utilizan para la generación de energía de calefacción y cocción de alimentos, por tecnologías mejoradas con alta eficiencia en el proceso de combustión (Assureira E. y Assureira M., 2007).

2.2.3. TIPOS DE COMBUSTION

Se puede clasificar a la combustión desde el punto de vista de la calidad de sus productos, se consideran los siguientes tipos de combustión, según Gonzáles, 2000.

A) COMBUSTION PERFECTA

La combustión perfecta es la que se produce, de acuerdo a cantidades estequiometrias de combustible y comburente. Este tipo de reacción solo se puede lograr en un laboratorio y no se da en la práctica industrial.

B) COMBUSTION INCOMPLETA

Se llama así a la reacción en la cual no se quema todo el carbono del combustible dando dióxido de carbono, sino que reacciona para dar monóxido de carbono.

C) COMBUSTION COMPLETA

La combustión completa es aquella en la cual todo el carbono del combustible reacciona con el oxígeno del comburente para dar dióxido de carbono.

En las cocinas mejoradas, la combustión incompleta es la que mejor se ajusta a la realidad. En la medida que se mejore la combustión incompleta, aproximándose a las condiciones teóricas de combustión completa con mínimo exceso de aire, se logrará mejores rendimientos y se evitará efectos contaminantes.

2.3. CALOR

El calor es una manifestación de la energía provocada por el movimiento molecular. Al calentarse un cuerpo, aumenta la energía cinética de las moléculas, produciéndose choques más o menos violentos, según la cantidad de calor entregada. La cantidad de calor de un cuerpo es función de la masa de un cuerpo y de su temperatura

2.3.1. CALOR SENSIBLE

Cuando definimos la unidad de calor, mencionaremos que el arreglo de dicha energía provoca un aumento en la temperatura, a ese estado calórico cuya variación de nivel puede determinarse mediante un termómetro, que es sensible a ella, se denomina calor sensible. Se caracteriza por cambios de la temperatura. Se presenta por la siguiente fórmula:

$$Q = m * C_p * (t_f - t_i) \quad (2.12)$$

Dónde:

Q = Cantidad de calor entregada o recibida por un cuerpo, kJ

m = Masa del cuerpo, Kg

C_p = Calor específico de la sustancia, kJ/Kg - °C

t_f = Temperatura final, °C

t_i = Temperatura inicial, °C

2.3.2. CALOR LATENTE

Es el calor que agregado a una sustancia no origina cambio de nivel térmico o temperatura, es el calor que encuentra latente. en efecto, por ejemplo, si se tiene agua en ebullición, durante todo el proceso que esta dura, la temperatura se mantiene constante en los 100 °C, aunque se le agregue calor continuamente.

$$Q = m * \lambda \quad (2.13)$$

Dónde:

Q = Calor agregado, kJ

m =Masa del cuerpo, Kg

λ = Calor latente de vaporización, kJ/Kg

2.4. MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

A) . CONDUCCION

Ley de Fourier

Es posible cuantificar los procesos de transferencia de calor en términos de las ecuaciones o modelos apropiados. Estas ecuaciones o modelos apropiados sirven para calcular la cantidad de energía que se transfiere por unidad de tiempo. Para la conducción de calor, la ecuación o modelo se conoce como la ley de Fourier.

$$\frac{q_x}{A} = -k * \frac{dT}{dX} \quad (2.14)$$

El flujo de calor o transferencia de calor por unidad de área q_x (W/m^2), es la velocidad con que se transfiere el calor en dirección x por área unitaria perpendicular a la dirección de transferencia, y es proporcional a la gradiente de temperatura, dT/dX en esta dirección. La constante de proporcionalidad, k, es una propiedad de transporte conocida como conductividad térmica ($W/m-K$) y es una característica del material de la pared. El signo menos es una consecuencia del hecho de que el calor se transfiere en la dirección de la temperatura decreciente (Incropera Frank, 1999).

Por este mecanismo de transferencia de calor por conducción, el calor puede ser conducido a través de sólidos, líquidos, y gases. La conducción se verifica mediante la transferencia de energía cinética entre moléculas adyacentes. En un gas las moléculas "más calientes", que tienen más energía y movimiento, se encargan de impartir energía a moléculas colindantes que están a niveles energéticos más bajos. Este tipo de transferencia siempre está, presente, en mayor o menor grado, en sólidos, líquidos y gases en los que existe una gradiente de temperatura (C.J.Geancoplis, 1998).

Sistemas radiales – cilindros.

Considerando un cilindro largo con un radio interno r_1 , radio externo r_2 y una longitud total L , tal como se aprecia en la figura N° 2.5. Exponemos este cilindro a una diferencia de temperaturas T_1 y T_3 , y preguntamos cual será el flujo de calor, considerando en estado estable.

Se puede suponer que el calor fluye en una dirección radial, de manera que es la única coordenada espacial necesaria para especificar el sistema. Una vez más se utiliza la ley de Fourier introduciendo la relación de área adecuada. El flujo de calor en sistemas cilíndricos se calcula con la ecuación propuesta por James R. Welty, 1992.

$$q_r = \frac{2 * \pi * L * (T_1 - T_2)}{\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{K_A} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{K_B}} \quad (2.15)$$

Donde.

q_f = Flujo de calor, kJ/s

T_1 = Temperatura interior °C

T_3 = Temperatura exterior, °C

L = Longitud del tubo, m

K_A = Conductividad térmica del material A, W/m -°C

K_B = Conductividad térmica del material B, W/m -°C

El término $\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{K_A * L}$, recibe el nombre de resistencia térmica del material, que es la resistencia que ofrece el material al paso de energía, que está dada en °C/ W

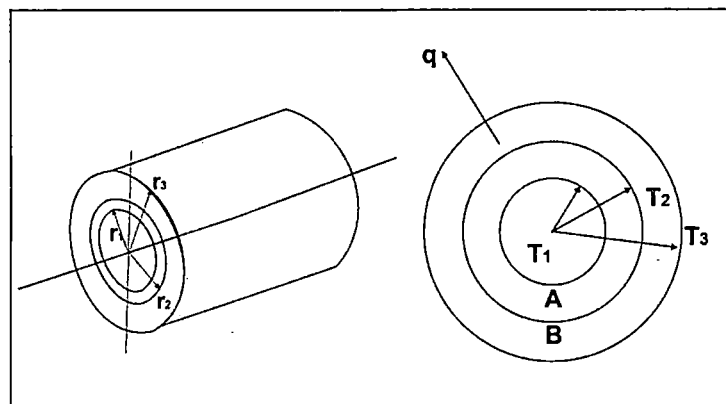


Figura N° 2.5. Sistema radiales-cilindros
Fuente: James R. Welty, 1992.

Sistemas Paredes compuestas.

El calor que atraviesa cada capa es el mismo, puesto que, en estado estacionario, la cantidad de calor que entra por una superficie sale toda por la siguiente.

En consecuencia la fig. 2.6:

$$Q = \frac{T_i - T_1}{R_1} * A = \frac{T_2 - T_3}{R_2} * A = \frac{T_3 - T_e}{R_3} * A = \frac{T_i - T_{ext}}{R_1 + R_2 + R_3} * A$$

En general:

$$Q = \frac{T_i - T_{ext}}{\Sigma R} * A = \frac{T_i - T_{ext}}{\Sigma \frac{e}{k}} * A \quad (2.16)$$

Siendo R_1, R_2, R_3, \dots Las resistencias térmicas de las distintas capas, A, es el área de transferencia de calor. Las temperaturas en las paredes intermedias se calculan con facilidad, a partir de las fórmula: Así: $T_2 = T_i - Q * R_1 / A$

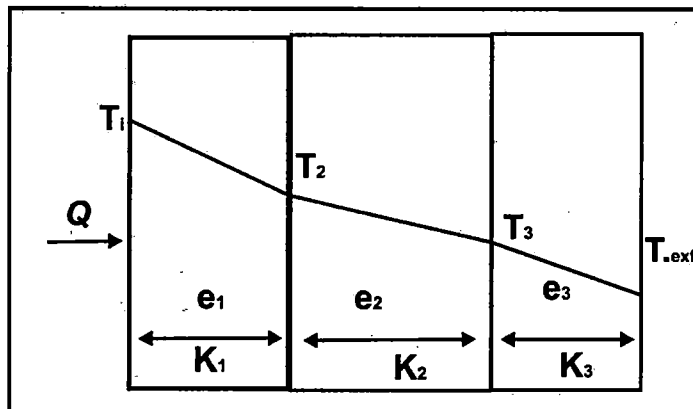


Figura 2.6. Sistemas de Paredes compuestas.

Conductividad térmica Bibliográfica para la arcilla y ladrillos.

No es posible contar con datos de tesis o trabajos de investigación sobre la conductividad térmica de la arcilla de San Jerónimo, es por ello se recurrió a los datos bibliográficos sobre a conductividad térmica para ladrillos hechos de arcillas cocidas, se muestran en la tabla 2.5.

Tabla N° 2.5. Conductividad térmica Bibliográfica para la arcilla y ladrillos

Material	Temperatura: °C	Conductividad :W/m·°C	Fuente
Ladrillo de construcción común	20	0.69	J.P. Holman, 2004
Arcilla , al 4% de agua	4.5	0.57	Geancoplis, 2004
Arcilla	20	1.279	Karlekar B.V,1994

B) CONVECCION

La transferencia de calor por convección implica el transporte de calor en un volumen y la mezcla de elementos macroscópicos de porciones calientes y frías de un gas o un líquido. Además, con frecuencia incluye también el intercambio de energía entre una superficie sólida y un fluido. Conviene aclarar que hay una diferencia entre la transferencia de calor por convección forzada en la que se provoca el flujo de un fluido sobre una superficie sólida por medio de una bomba, un ventilador, u otro dispositivo mecánico y la convección libre o natural, en la cual un fluido más caliente o más frío que está en contacto con la superficie sólida causa una circulación debido a la diferencia de densidades que resulta de la gradiente de temperaturas en el fluido (Geancoplis, 1998), cuya ecuación esta dada por.

$$q = h * A * (T_w - T_f) \quad (2.17)$$

Dónde:

q= Velocidad de transferencia de calor, W

A= Área de transferencia de calor, m²

h= Coeficiente conectivo de transferencia de calor, W/m²- K

T_w=Temperatura de la superficie del sólido, K

T_f= Temperatura promedio o general del fluido, K.

En la tabla N° 2.6, se detallan los valores aproximados del coeficiente de transferencia conectivo.

Tabla N° 2.6. Valores aproximados del coeficiente de transferencia de calor conectivo

Mecanismo	h (Btu/hr ft ² °F)	h (W/ m ² -K)
Convección libre, aire	1 - 10	5 - 50
Convección forzada, aire	5 - 50	25 - 250
Convección forzada, agua	50 - 3 000	250 - 15 000
Agua en ebullición	500 - 5 000	2500 - 25 000
Vapor de agua	1 000 - 20 000	5 000 - 100 000

Fuente: James Welty R. 1992.

C) RADIACION

La radiación difiere de la conducción y la convección en cuanto a que no se requiere un medio físico para la transferencia. La radiación es la transferencia de energía a través del espacio por medio de ondas electromagnéticas, de manera similar a las ondas electromagnéticas que propaga la luz. La transferencia radiante de calor se rige por las mismas leyes que dictan el comportamiento de la transferencia de luz. Los sólidos y líquidos tienden a absorber la radiación que está siendo transferida a través de ellos, por lo que la radiación es más importante en la transferencia a través del espacio o de gases (Geancoplis, 1998).

Cuerpo negro.

Se define como el cuerpo (superficie) absorbe toda la energía radiante y no refleja porción alguna de la misma, es un cuerpo ideal, cuya emisividad es igual a 1 (Geancoplis, 1998), cuya ecuación es como sigue.

$$Q_{rad} = A * \sigma * (T_1^4 - T_2^4)$$

(2.18)

Dónde:

Q_{rad} = flujo de calor, W

A = Área superficial del cuerpo 1, m²

σ = Constante de Boltzman, $5.676 \cdot 10^{-8}$, W/m²*K⁴

T₁ = Temperatura del cuerpo 1, K

T₂ = Temperatura del cuerpo 2, K

2.5. ARCILLA

2.5.1. DEFINICION DE ARCILLA

Son partículas finísimas de 0.06 mm, de diámetro, procedentes de las descomposición de rocas feldespáticas. La arcilla pura recibe el nombre de caolín. Una de las principales propiedades de la arcilla es su plasticidad, además de ser refractaria. Desempeña un gran papel en la construcción por ser una materia prima en la fabricación de cementos y de cerámica. Corresponde a minerales no metálicos, superficiales de color rojo plástica. (Facincani, 1993).

Tabla N° 2.7. Análisis Químico, Mineralógico y Físicoquímico de la arcilla de San Jerónimo

ANÁLISIS QUÍMICO							
COMPONENTE	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	MgO	CaO	K₂O	Na₂O
% en peso	50	22	3.5	1.65	6.9	0.9	0.7
ANÁLISIS MINERÁLOGICO							
Arcilla	Feldespato		Carbonatos		Cuarzo		
67.18	10		7.48		15.34		
PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS							
pH	COLOR		PLASTICIDAD				
8	Rojo indio		Plástica				

Fuente: Luque y Hanco, 2006

2.5.2. CLASIFICACION

Como se hace la clasificación de las arcillas, si es por su composición mineralógica o resistencia mecánica.

La clasificación de la arcillas, es por su color que adquieren después de la cocción y estos son (Hald, 1986):

- a) Arcillas ricas en alúmina y pobre en hierro, son blancas o apenas coloreadas después de la cocción. Pertenecen a este grupo el caolín y la tierra de loza.
- b) Arcillas ricas en alúmina y con regular porción de hierro, por cocción toman un color que varía de amarillo pálido al pardo oscuro. En este grupo están incluidas las arcillas plásticas que contienen entre 20 a 30 % de alúmina y 1 a 5 % de óxido de hierro.
- c) Arcillas pobre en alúmina y ricas en hierro, su color torna a rojo luego de la cocción. A este grupo pertenecen las mejores arcillas para ladrillo común de mampostería.
- d) Arcillas pobre en alúmina y ricas en hierro y cal, como las magras arcillosas que toman a amarillo pálido por cocción.

2.6. MINERAL SILICE

SILICE DE LAMPA (PUNO)

El mineral Sílice (comunidad de Japo, provincia de Lampa, región Puno), es un mineral compuesto de sílice, es un mineral más común de la corteza

terrestre estando presente en una gran cantidad de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, se destaca por su dureza y resistencia a altas temperaturas.

En la tabla N° 2.8, se detallan los componentes del análisis del mineral Sílice.

Tabla N° 2.8. Análisis químico del mineral Sílice

COMPONENTE	Muestra 01 (%)	Muestra 02 (%)
SiO ₂	91.57	90.20
CO ₃ ⁻²	0.00	0.02
SO ₄ ⁻²	0.01	0.00
Fe ₂ O ₃	3.28	1.13
Al ₂ O ₃	0.28	2.70
CaO	1.89	0.02
MgO	0.25	0.01

Fuente: Laboratorio de Análisis de la Escuela Profesional de Química-UNSAAC

De la tabla N° 2.8, se parecía que el componente predominante es el dióxido de silicio, que de allí proviene la palabra mineral de sílice.

El mineral de Sílice tiene las siguientes propiedades.

Tabla N° 2.9. Propiedades del mineral Sílice

Color	Blanco gris
Raya	blanco
Brillo	mate
Dureza	7 sobre la escala de Mohs, sobre un máximo de 10, del diamante
Densidad aparente	1.11 g/cm ³
Porosidad	29.259 %
Resistencia térmica	0.0588 m ² K/W
Conductividad térmica	0.34 W/m-K
Plasticidad	No plástica
Densidad real	1.8154 g/cm ³

Fuente: Trabajo desarrollado por el equipo de Investigación, ING. QUÍMICA

De la tabla anterior como se aprecia para elaborar ladrillos del mineral de Sílice, es necesario contar con un aglomerante para que fuera plástica, es por ello se agrega Caolín del 10 al 15 % en peso de mineral Sílice.

2.7. ELIMINACION DEL AGUA DURANTE LA COCHURA

La eliminación de agua de los materiales durante la cochura se divide en tres secciones (Hald, 1994):

1. Agua libre

El agua que se encuentra entre partículas minerales en los capilares y que se puede moverse más o menos libremente entre ellos, es el agua libre o intersticial, esta agua puede ocupar un espacio importante entre las partículas del cuerpo arcilloso y su eliminación puede generar una pérdida de volumen significativo del mismo

El agua intersticial que tiene un cuerpo arcilloso durante la primera parte de su elaboración como tal, proviene de la adición que se realiza durante el amasado y extruido y puede variar dentro de un rango relativamente amplio según la naturaleza de la mezcla arcillosa. Esta agua libre o intersticial también se llama agua de plasticidad, porque a partir del momento en que se interponen moléculas de agua libre entre partícula y partícula, la arcilla se deforma bajo el efecto de una fuerza externa, es decir se comporta como un material plástico.

2. Agua higroscópica

El agua que se encuentra ligada a las partículas minerales por fuerzas eléctricas, propias del dipolo del agua así como de las cargas naturales de los cristales que forman las arcillas. La cantidad de agua higroscópica que tiene un cuerpo arcilloso depende de su naturaleza química, física y mineralógica de las materias primas, de su granulometría, de la presencia de sales. La pérdida de esta agua no genera variaciones de volumen del cuerpo arcilloso durante el secado.

3. Agua cristalográfica

Es el agua que se encuentra unida químicamente a los cristales que forman el cuerpo arcilloso. La cantidad de agua cristalográfica que posee el cuerpo arcilloso depende de la naturaleza química y mineralógica de las materias primas

2.8. ACCION DEL CALOR SOBRE LAS ARCILLAS

La acción del calor sobre las arcillas, lo describe Facincani, 1993, y se describe a continuación.

- La eliminación del agua higroscópica se da a una temperatura de aproximadamente 100°C, a esta temperatura la arcilla aun no pierde su agua de composición y conserva la propiedad de dar masas plásticas.
- En un rango de temperatura entre 300 y 400 °C, el agua llamada de combinación es liberada (agua cristalográfica), perdiendo la propiedad de dar masa plásticas, aunque se reduzca polvo y se le añada suficiente agua.
- Entre 600 y 700 °C, el agua de composición contenida en las arcillas es totalmente eliminada.
- Por acción de calor entre 700 y 800 °C, la arcilla adquiere propiedades tales como dureza, contracción y sonoridad, la sílice y la alúmina comienzan a formar un silicato anhidro (Mullita: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$). Esta combinación se completa al parecer entre 1100 y 1200 °C.
- Hacia los 1500 °C, aparecen los primeros síntomas de vitrificación de la arcilla.

2.9. PRUEBA DE EBULLICON DEL AGUA

Para la prueba de ebullición del agua (PEA), existe un método estándar de la Shell- UCB (University of California Berkeley, 2003), (www.aprobecho.org), en cual simula los procesos de cocción de comida en alta potencia (PEA-Fase alta potencia) y cocción a fuego lento (PEA- Fase baja potencia).

La PEA puede ser realizada en diversos tipos de cocinas y en diferentes lugares, además está diseñada con un método simple, en el cual las cocinas pueden se comparadas mediante una prueba estándar y de forma reproducible, sin embargo la PEA, es solo una aproximación del comportamiento de una situación real de cocción, además es realizado bajo condiciones controladas y por personas capacitadas. La PEA, tiene tres fases que se describen a continuación.

A) 1° Fase: Fase de alta potencia con inicio frio

Esta prueba consiste en llevar a ebullición 5 litros de agua, iniciando con la cocina a temperatura ambiente y usa un paquete de masa de leña previamente pesado, luego se reemplaza el agua hervida con otra olla de agua fría para realizar la segunda fase de la prueba.

B) 2° fase: Fase de alta potencia con inicio caliente

Sigue inmediatamente después de la fase con inicio frio mientras la cocina este caliente. Nuevamente se usa un paquete de leña pesado previamente para hervir 5 litros de agua.

C) 3° fase: Fase de baja potencia

Sigue inmediatamente después de la fase con inicio caliente, aquí se evalúa la cantidad de leña requerido para hervir a fuego lento una cantidad de agua sobrante de la prueba anterior (agua remanente que queda en la olla), por debajo de la temperatura de ebullición por un tiempo de 45 minutos, este paso simula la cocción de alimentos a fuego lento.

Esta combinación de fases mide los rendimientos en alta y baja potencia que son asociados con la capacidad de la cocina en ahorrar leña.

Esta combinación de fases mide los rendimientos en alta y baja potencia, que son asociados con la capacidad de ahorrar combustible.

La PEA está orientada a dar diferentes índices de rendimiento, estos son:

- Tiempo de cocción
- Velocidad de combustión
- Consumo específico de combustible
- Potencia promedio
- Eficiencia térmica.

2.10. FORMULAS USADAS PARA LA EVALUACION POR LA PEA, EN COCINAS MEJORADAS

Para poder calcular el consumo específico de combustible, eficiencia térmica, potencia, velocidad de combustión, es necesario realizar el balance de masa para el agua y la para el combustible (leña). Para dichos cálculos se usarán las siguientes ecuaciones.

Leña húmeda consumida: f_m :

Es la masa de la leña que fue usada para llevar el agua a la temperatura de ebullición, se halla por simples restas, entre la leña pesada antes de la fase, menos la leña que sobró después de la fase.

$$f_m = \text{masa de leña inicial} - \text{masa de leña final} \quad (2.19)$$

Leña seca convertida en energía: fd :

$$fd = f_m * (1 - 1.12m) - 1.5 * \Delta c \quad (2.20)$$

Esta fórmula, fue propuesta por Álvarez, 2009, el análisis de la fórmula es lo siguiente:

Es el cálculo que ajusta la cantidad de leña que fue quemada para considerar 2 factores: (1) la energía que fue necesaria para remover la humedad de la leña

y (2) la cantidad de carbón sin quemar, la leña seca consumida esta expresada en kg.

Para la corrección del carbón, Baldwin 1987, argumenta que .El factor de $1.5\Delta c$ considera la cantidad de leña transformada en carbón sin quemar. Dado que el carbón tiene aproximadamente el 150% del poder calorífico de la leña, la cantidad de leña que calienta la olla de agua es ajustada por $1.5\Delta c$ para considerar el carbón remanente.

La velocidad de combustión: V_{comb}

Es la cantidad de gramos de combustible que se quema en el intervalo de tiempo que dura la fase, que corresponde a la ebullición, que se expresa como (g/ minutos).

$$V_{comb} = \frac{fd}{t_{eb}} \quad (2.21)$$

Consumo específico de combustible (leña): CE

Se expresa como la cantidad de leña seca convertida en energía, para producir un litro de agua hervida (agua remanente en la olla).

$$CE = \frac{fd}{(m_{agua} f)} \quad (2.22)$$

Eficiencia térmica: η

Es la cantidad de energía ganada por el agua con respecto a la cantidad de energía entregada por el combustible, la eficiencia térmica se calcula para las 02 primeras fases de la PEA, expresada en %

$$\eta = \left(\frac{m_{agua} * C_{p_{agua}} * (T_{eb} - T_i) + m_{vapor} * \lambda}{fd * PCI} \right) * 100\% \quad (2.23)$$

Potencia promedio: P

Se define como la cantidad de energía ganada por el agua en un intervalo de tiempo correspondiente a la ebullición, la potencia promedio se calcula en las 02 primeras fases de la PEA, la potencia promedio esta expresada en kW

$$P = \frac{m_{agua} f C_{p_{agua}} (T_{eb} - T_i) + m_{vapor} \lambda}{t_{eb}} \quad (2.24)$$

Dónde:

η = Eficiencia térmica del equipo, %

P= potencia promedio, kW

V_{comb} = velocidad de combustión, g/min

- CE= Consumo específico de combustible, g/L
 $C_{p_{agua}}$ = Capacidad calorífica del agua, kJ/kg-°C
 T_{eb} = Temperatura de ebullición local del agua, °C
 T_i = Temperatura inicial del agua, °C
 $m_{agua\ i}$ = Masa de agua al inicio de la fase, kg
 $m_{agua\ f}$ = Masa de agua al final de la fase (agua remanente en la olla), kg
 $m_{vapor.}$ = Masa de vapor producido en la fase, kg.
 λ = Calor latente de vaporización, kJ/kg
PCI= Poder calorífico inferior del combustible, kJ/kg.
fm= Leña húmeda consumida, kg
fd= Leña seca consumida, kg
m= Humedad de la leña, %
 Δc = Carbón producido en la fase, kg
 t_{eb} = Tiempo de ebullición del agua, minutos

2.11. FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS DE LA PEA

Para realizar la prueba de manera óptima, APROVECHO. Org, adjunta en la última parte del manual de Principios de Diseño para Estufas de Cocción a Leña, un formulario para la toma de datos (ver figura ° 2.7), tales como masa de leña, masa de aislante, masa de ollas, etc., este formulario facilita el manejo de datos para luego procesarlos.

Hoja de datos

Fecha Prueba Numero Estufa

punto de ebullición local

temperatura del aire

dimensiones de la madera

peso olla 1

peso olla 2

peso del contenedor de carbón

Notas: DATOS DE LA PRUEBA EN EL CAMPO DE EBULLICIÓN DE AGUA Y HOJA DE CÁLCULOS
 Deben rellenarse todos los espacios.
 Resultados del DCS y el TRES deben ser similares.
 Las estufas mejores usan menos madera y producen menos carbón.
 Las que cocinan suelen apreciar una ebullición rápida

	BULTO 1 - 2k lts		2 - 2k lts		3 - 5k lts		4	
	Alto poder con inicio frío		Alto poder con inicio caliente		Hervir		Cocinar a fuego lento 45 minutos	
	inicio	fin	inicio	fin	inicio	fin	inicio	fin
tiempo	A	B	C	D	E	F	G	H
peso madera	I	J	K	L	M	N	O	P
Temp agua olla 1								
Temp agua olla 2								
peso olla 1 más agua	Q	R	S	T	U	V	W	X
peso olla 2 más agua								
peso materiales usados para prender fuego								
Peso carbón y contenedor			Y	Z				

Figura 2.7. Formulario de la PEA
 Fuente: Aprovecho, 2006

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1 MATERIALES E INSTRUMENTOS DE MEDICION

Los materiales, equipos e instrumentos usados en esta investigación fueron:

3.1.1. MATERIALES

- ❖ Arcilla de San Jerónimo - Cusco
- ❖ Aislante de madera
- ❖ Contenedor metálico para la leña
- ❖ Contenedor metálico para el carbón
- ❖ Espátula
- ❖ Formulario de PEA
- ❖ Fibra cerámica, marca “Luyangwool”, Tipo: LYKX-1260T, densidad 128 Kg/m³
- ❖ Ladrillo cerámico aislante
- ❖ Mineral sílice – Lampa- Puno
- ❖ Moldes de metal
- ❖ Moldes de madera
- ❖ Olla de aluminio, marca Record N° 30

3.1.2. INSTRUMENTOS DE MEDICION

- ❖ Balanza digital, marca Camry, modelo EK 505, con plataforma de vidrio templado, de capacidad de 150 kg, con precisión de ± 100 g
- ❖ Balanza digital, marca PATRICK'S, modelo Pk 32D, con capacidad de 15 kg, con precisión de ± 1 g
- ❖ Cronometro
- ❖ Pirómetro marca “**Thermomether digital serie 395**”, con termocupla tipo “K”, con rango de -20 °C a 1500 °C
- ❖ Multímetro, marca “DIGITAL MULTIMETER”, modelo DT9205M
- ❖ Malla 100 serie “Fourney”
- ❖ Termómetros digitales marca “Digital Instrument” , con termocupla tipo “K”
- ❖ Reóstato con regulación de voltaje

3.1.3. EQUIPOS

- ❖ Horno eléctrico
- ❖ Molino de bolas
- ❖ Equipos de protección personal , EPPs (guantes resistentes al calor, respirador, gafas, mandil)
- ❖ Ventilador.

3.2 METODOLOGIA DEL DISEÑO DE LA COCINA MEJORADA

La metodología del diseño de la cocina mejorada, es forma teórico-experimental.

3.2.1 DISEÑO DE LA CAMARA DE COMBUSTION EN FORMA DE “L”

De acuerdo a lo sugerido por Baldwin (1987), la cámara de combustión debe tener forma de “L”.

Aprovecho, 2006, recomienda que la altura de la cámara de combustión, deba ser aproximadamente tres veces más que su diámetro. ($H_{c.c.} \cong 3 * D_{c.c.}$).

Por otro lado, Álvarez (2009), indica que la altura de la olla con respecto al lecho del combustible debe de estar entre 20 a 30 cm.

Considerando estos antecedentes, se procedió a la construcción de la cámara de combustión en forma de “L”, en el Laboratorio de Cerámica y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Química.

Para lo cual se utilizó la arcilla procedente de la empresa “LATESA”, ubicada en la comunidad de Ocollopampa, distrito de San Jerónimo, provincia y departamento de Cusco (ver figura 3.1).

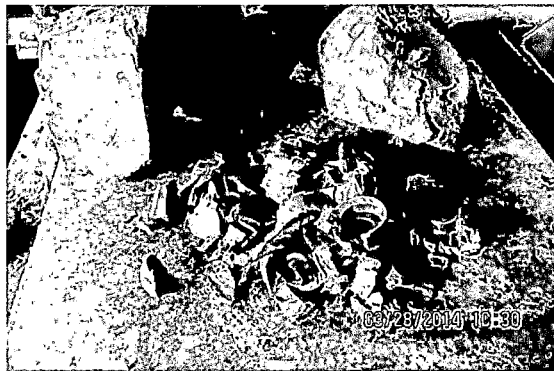


Figura N° 3.1. Arcilla de San Jerónimo

Para elegir la altura interior de la cámara de combustión se procedió a construir una cámara de combustión madre de altura interior de 35 cm, esta cámara de combustión, se procedió a realizar cortes con fin de obtener 3 cámaras de combustión, con diferentes alturas interiores.

PROCEDIMIENTO PARA LA FABRICACION DE LAS CAMARAS DE COMBUSTION

Para el moldeado de la cámara de combustión madre se usó un molde metálico de plancha de 2 mm de espesor, que consta de las siguientes partes:

- Tubo metálico: que consta de 2 piezas de tubo de 14.5 cm de diámetro externo y 37 cm de longitud, cortados las 2 piezas de tubo en un ángulo de 45 °, unidos con una tuerca de ½", soldado a uno de los tubos un perno de ½" de diámetro .
- Tapa: consta de una plancha en forma de "L", soldado en las orillas de la misma 6 pasadores con sus respectivas clavijas.
- Carcasa: consta de 03 tapas de planchas en forma de "L", cuyas dimensiones tanto el largo y la altura total son 37 cm, pero el largo y la altura pequeña son de 11 cm respectivamente, para la unión de las partes se soldó 06 pasadores con sus respectivos clavijas.
- Guías: consta de 2 piezas en forma cuadrada y se realizó un círculo de 16 cm de diámetro, con el fin de que los tubos metálicos se pudieran deslizar, la finalidad del uso de las guías son para que las piezas de tubo no se arrinconen a los costados de la carcasa (permite que se quede en el centro para conservar un mismo espesor).

Las partes antes mencionadas se aprecian en la figura N° 3.2.

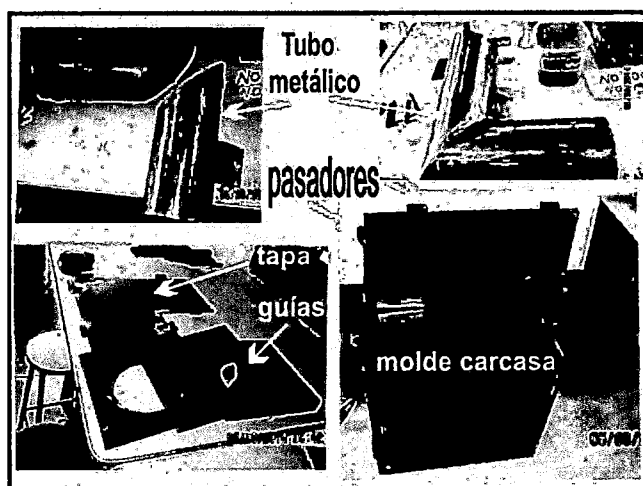


Figura N° 3.2. Partes del molde metálico

Las características del molde metálico se detallan en la Tabla N° 3.1

Tabla N° 3.1. Dimensiones del molde de la cámara de combustión

DIMENSION	MEDIDA
Largo (cm)	37.00
Largo pequeño (cm)	11.00
Altura (cm)	37.00
Altura pequeña (cm)	11.00
Diámetro interno (cm)	14.5
Ancho (cm)	24.00

Al molde metálico visto en la figura N° 3.1, se le humectó con hidrolina (aceite de automóviles), con la finalidad de que la pasta de arcilla no se adhiera al molde metálico y así facilitó al momento del desmoldado, luego se tomó pedazos de pasta de arcilla y se introdujo en el interior del molde y presionando la pasta para que adquiriera la forma del molde.

En la figura N° 3.3 se aprecia la forma de cómo se procede a introducir manojos de pasta en el interior del molde.

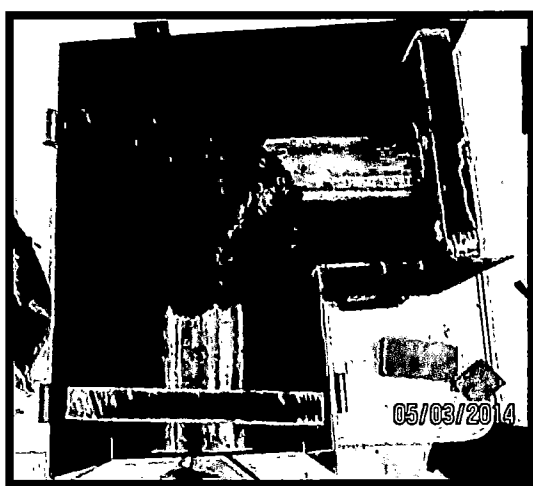


Figura N° 3.3. Moldeado de la cámara de combustión madre.

a) Secado.

El desmoldado de la cámara de combustión madre, se realizó al día siguiente.

Por efectos del secado, se presentó algunos inconvenientes en la estructura interna y externa, para ello se procedió a rebajar con la ayuda de una navaja (se talló en la cámara de combustión madre la parte interna y externa). Para la parte exterior se le dio la forma circular, y en la parte interior se aumentó el diámetro a 1 cm más, quedando con espesor de la pared a 3.3 cm. (Figura 3.4)

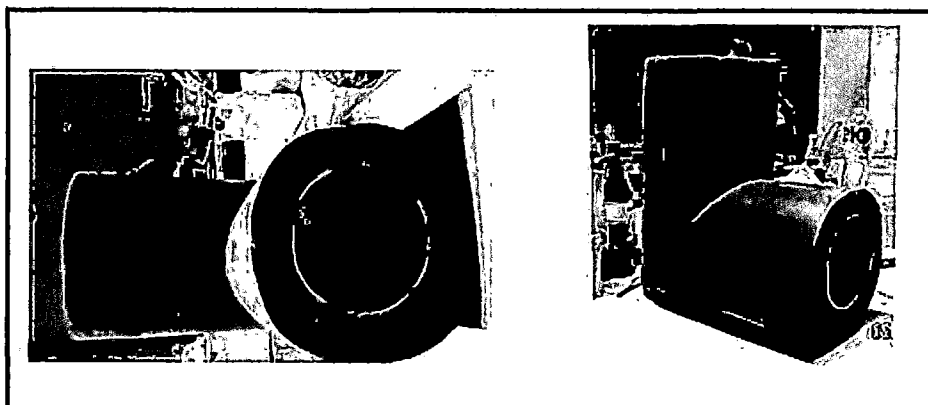


Figura N° 3.4. Cámara de combustión madre seca.

Tabla N° 3.2. Características de la cámara de combustión madre seca.

DIMENSION	MEDIDA
Altura interior (cm)	36.00
Largo interior (cm)	36.00
Diámetro interno (cm)	14.50
Diámetro externo (cm)	20.50
Espesor (cm)	3.30

En la tabla N° 3.2, las dimensiones del largo y de la altura, son dimensiones interiores, no se considera el espesor de la cámara de combustión madre.

Una vez acondicionada la cámara de combustión madre, se realizó el secado al aire libre, inicialmente, que se secó 1 semana cubierta con un trapo, sin que le incidan los rayos solares, 02 semanas al aire libre, también fuera de los rayos solares, y la última semana, se sacó a exterior del laboratorio para el secado con los rayos solares.

b) Preparación de cámaras de combustión

A la cámara de combustión madre, se le realizó 02 cortes (teniendo 04 anillos cerámicos de 5 cm de altura), con el fin de obtener 3 cámaras de combustión de diferentes alturas interiores (24, 29 y 35 cm).

c) Cocción

Las 3 cámaras de combustión, se sometieron al proceso de cocción en horno eléctrico a una temperatura de 1000 °C, luego se dejó enfriar 1 día en el interior del horno.

3.2.2. DISEÑO DE LA PARRILLA METALICA

Para el espaciado de la barras de la parrilla metálica, se tuvo en cuenta lo propuesto por Baldwin, 1987, quien indica que "De emplearse un lecho de combustible con distancias entre barras menores a 10 mm (1cm), se observará obstrucción y reducción en el flujo de aire a través del lecho del combustible resultando en una combustión defectuosa, por el contrario al aumentar la distancia entre barras el carbón producido en la combustión caerá al cenicero desaprovechando esta energía en la cámara de combustión", la longitud y el ancho de la parrilla metálica lo determina la longitud interna y el diámetro interno de la cámara de combustión.

Cálculo del ancho de la parrilla metálica:

La altura de la parrilla metálica con respecto al piso de la cámara de combustión, se optó por tomar la cuarta parte del diámetro de la cámara de combustión ($D_c/4$), en vista que a medida que se eleva la altura de la parrilla metálica, disminuye la capacidad de dotación del combustible (se coloca menos leña), pero al contrario, si esta altura fuese corta, las cenizas presentarían un obstáculo para el ingreso del aire primario, y la parrilla metálica no estaría cumpliendo su propósito, que es de dotar de aire primario, por consiguiente, la altura de la parrilla metálica es igual a 3.76 cm aproximadamente, que con cuyo espacio se garantiza la entrada del aire primario (el aire primario es el que fluye por debajo de la parrilla metálica).

3.2.3. ALTURA DE LA OLLA CON RESPECTO A LA BOCA DE LA CAMARA DE COMBUSTION; G_c

Para realizar el cálculo de la altura de la olla con respecto a la boca de la cámara de combustión, se empieza calculando el radio interno de la cámara de combustión, esto dividiendo el diámetro interno entre 2, luego se calcula el área.

Por otro lado se calcula el perímetro de la cámara de combustión, la división del área entre el perímetro, da la altura de la olla con respecto a la boca de la cámara de combustión, siendo las ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.3, las que facilitaron el cálculo.

3.2.4. SELECCIÓN DE LA ALTURA DE LA CAMARA DE COMBUSTION

La selección de la altura interior de la cámara de combustión, se realizó en función a su eficiencia térmica y potencia promedio, de las 3 cámaras de combustión, se seleccionó al que arrojó el más alto índice de eficiencia térmica y potencia promedio.

PROCEDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN DE LA ALTURA INTERIOR DE LA CÁMARA DE COMBUSTION.

Una vez obtenido las cámaras de combustión con diferentes alturas interiores, se procedió a instalarla, con el fin de no sufrir accidentes personales (quemaduras) y para la facilidad de la realización de las pruebas.

La figura N° 3.5, muestran la posición de la cámara de combustión 3 (C.C. 3) con la parrilla metálica y los instrumentos usados para la medición.

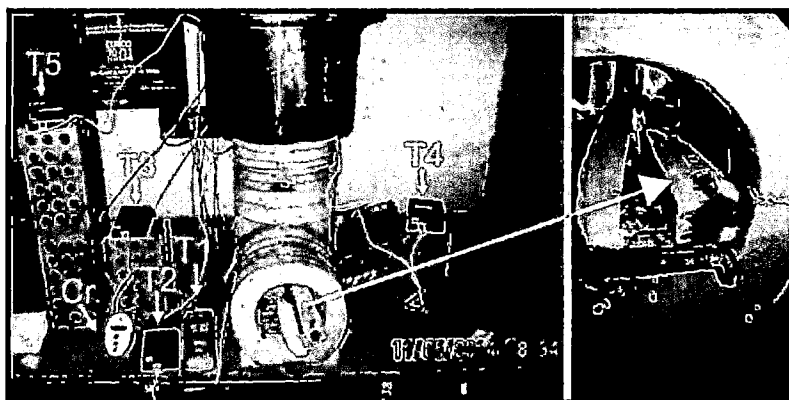


Figura N° 3.5: Cámara de combustión 3. Con vista de la parrilla metálica.

T1 (°C): Pirómetro, mide la temperatura dentro de la cámara de combustión

T2 (°C): Termómetro, mide la temperatura fuera de la cámara de combustión

T3 (°C): Termómetro, mide la temperatura en la boca de la cámara de combustión.

T4 (°C): Termómetro, mide la temperatura en la parte exterior de la cámara de combustión (a 2 cm debajo de la boca de la cámara de combustión).

T5 (°C): Termómetro, mide la temperatura del agua, a unos 5 cm de la base de la olla

Cr.= Cronometro, mide el tiempo que dura la fase, en minutos.

La Prueba de Ebullición del Agua, en la 1° fase, consistió en llevar a ebullición 5 L de agua que se encuentran a temperatura ambiente. Antes de empezar con la prueba, se realizó la limpieza de las cámaras de combustión, luego se colocó la parrilla metálica, se pesó la masa de la olla vacía, contenedores para la leña y la astilla, aislante, luego se midió con la ayuda de un termómetro de bulbo la temperatura ambiental y la temperatura del agua (los termómetros digitales poseen un error de ± 2 °C a temperatura ambiente , luego pasado los 30 °C, no se percibe dicho error), todo estos datos se anotó en el formato de la PEA (ver apéndice 1).

Se colocó las leñas sobre la parrilla metálica (entre 3 a 4 leños), luego se introdujo las astillas por la boca de las cámaras de combustión (las astillas estaban en contacto con los leños), y se procedió al encendido. Con el fin de tener una evolución de las temperaturas dentro y fuera de las cámaras de combustión y en la olla, se anotó las temperaturas cada 2 minutos.

Para la selección de la altura interior de la cámara de combustión, se realizaron pruebas de la PEA, en la primera fase, 1° (fase de alta potencia con inicio fio), de acuerdo a la metodología propuesta por Aprovecho Research Center y el

Reglamento para la Evaluación y Certificación de la Cocina Mejorada de SENCICO.

En la evaluación de las cámaras de combustión, se originaron datos, producto del llenado del formulario de la PEA, como la masa de leña consumida en la fase, f_m , masa de leña seca convertida en energía, f_d , masa de carbón creado en la fase ΔC , masa de agua al inicio de la fase, $m_{\text{agua } i}$, masa de agua al final de la fase, $m_{\text{agua } f}$, tiempo de ebullición del agua, t_{eb} , temperatura inicial del agua T_i , temperatura de ebullición local, T_{eb} , dichos valores son el resultado de restas entre lo que entra menos lo que sale, dichos resultados se detallan en el Apéndice 2.

En la tabla N° 3.3, se aprecia las variables que se evaluaron para la selección de la altura interior de la cámara de combustión.

Tabla N° 3.3. Evaluación de variables para las cámaras de combustión

Cámara de combustión (C.C.)	1	2	3
Numero de prueba	promedio	promedio	promedio
P (kW)			
η			
$\eta \%$			

Cabe indicar que en este trabajo de investigación, en las pruebas se usó la metodología propuesta por Aprovecho Research Center y el Reglamento para la Evaluación y Certificación de la Cocina Mejorada de SENCICO, siendo en:

- Selección de la altura interior de la cámara de combustión, se usó las pruebas de la PEA, en la primera fase, 1° (fase de alta potencia con inicio fío).
- Determinación del GAP óptimo, las 3 fases de la PEA.
- Evaluación de la cocina tradicional (fogón) de la provincia de Urubamba, las 3 fases.

Para la PEA, la leña se mantuvo el diámetro de entre 3 y 4 cm aproximadamente y leña seca en todas las pruebas.

3.2.5. OBTENCION DEL MATERIAL PARA LA CAMARA DE COMBUSTION

La cámara de combustión es donde se realiza la combustión de la leña, es el reactor principal de la cocina, es por ello en tiempo de operación prolongado las pérdidas de calor por las paredes de la cámara de combustión son considerables, usando como material de la cámara de combustión arcilla, ya que la conductividad de la arcilla es $1.279 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ (tabla N° 2.5), que en

comparación la conductividad térmica del mineral Sílice es de 0.34 W/m-°C (tabla N° 2.9), que combinada o mezclada en masa, reduzca su conductividad térmica, resultando un material apto para dicho propósito.

Para determinar la conductividad térmica de la mezcla, se usó el método de la placa caliente guarda. Para calcular la conductividad térmica de la mezcla, se usó la ley de Fourier (ecuación N° 2.14).

Se realizaron 2 pruebas, para calcular la conductividad térmica de la mezcla, se tomó el valor del promedio aritmético de las 2 pruebas.

1) ELABORACION DE LAS PLACAS PARA LA MEDICION DE LA CONDUCTIVIDAD TERMICA

Es preciso contar con placas cerámicas cocidas de dimensiones conocidas para la determinación de la conductividad térmica, es por ello que se detalla el proceso de la elaboración de las placas cerámicas con mezcla arcilla- mineral Sílice.

Para la elaboración de las placas cerámicas, se usó la arcilla procedente de San Jerónimo- Cusco y el mineral Sílice procedente de Lampa- Puno. El siguiente cuadro muestra las proporciones de masa de cada componente.

Tabla N° 3.4. Proporción de la mezcla en masa de la Arcilla y Sílice

Componentes	Proporción en masa
	$\frac{50\%}{50\%}$ (probeta 01)
Arcilla (g)	750
Sílice(g)	750
Total (g)	1300

De la tabla N° 3.4, el total representa la suma de la arcilla y el mineral Sílice, se optó la masa de la mezcla Arcilla / Sílice de 1300 g, por la capacidad del molde.

A) Molienda y tamizado de las materia primas

La molienda de la arcilla se procedió en forma manual, pero la molienda del mineral sílice se realizó en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, usando un molino de bolas. Las materias primas molidas, se tamizo a malla 100.

B) Pesado y mezclado de las materias primas.

Las materias primas tamizadas, se pesaron por separado en cada recipiente, tal como se observa en la figura N° 3.6

Una vez pesado las materias primas, se procedió al mezclado en seco, que consiste en verter de poco en poco cada uno de los componentes en un recipiente más grande.

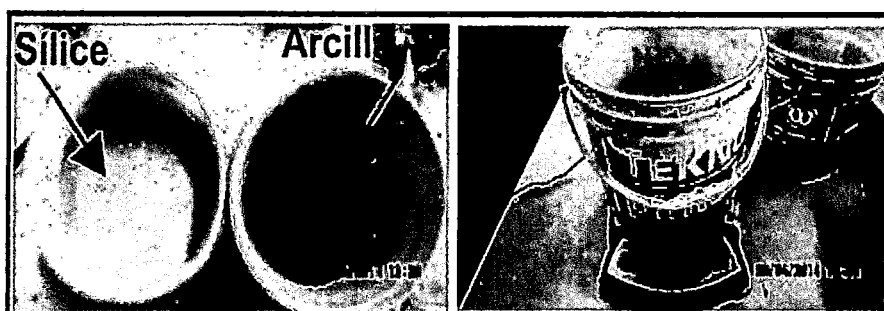


Figura 3.6: Pesado de materias primas

C) Humectación

La humectación de la mezcla consiste en verter agua al recipiente de la mezcla arcilla-mineral de sílice de poco a poco, hasta lograr una pasta consistente y plástica, por motivos de manejabilidad se vertió 308 ml de agua aproximadamente por cada kilogramo de mezcla (por experimentación).

El amasado de la mezcla, se realiza en las mesas del laboratorio, con el fin de homogenizar la pasta hasta un punto que sea manejable.

D) Moldeado de la pasta

Para el moldeado de la pasta arcilla-Sílice, se usó dos moldes de madera de las siguientes características.

Tabla N° 3.5. Características del molde de madera para las placas cerámicas.

Característica	Molde 01	Molde 02
Largo (cm)	15.18	15.00
Ancho (cm)	15.00	15.00
Altura (cm)	3.71	3.68

A los moldes de madera, se unta con aceite lubricante (hidrolina), con la finalidad de que la arcilla no se adhiera a las paredes del molde y nos facilite el desmoldado.

Las placas cerámicas se realizaron por duplicado par que una placa sirva para el estudio y la otra como material de acompañamiento.

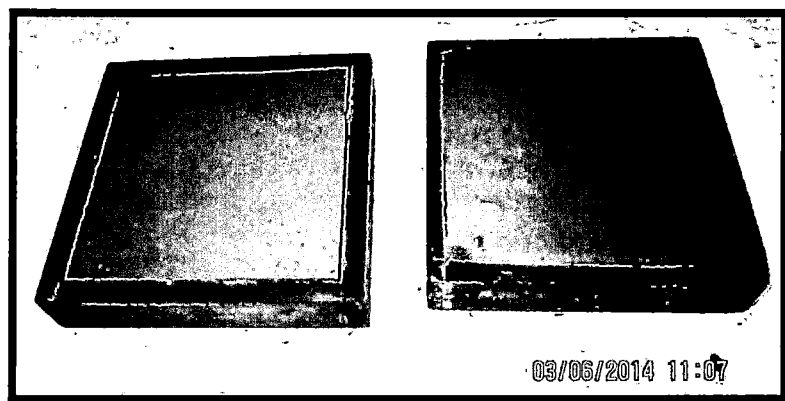


Figura N° 3.7: Moldeado de la mezcla Arcilla-Sílice.

E) Secado y cocción de las placas

El secado es una de las fases más delicadas del proceso de fabricación de las placas cerámicas, el buen resultado y la calidad del material, el secado tiene la finalidad de eliminar el agua agregada en la fase de la preparación de la pasta (agua intersticial, agua higroscópica, agua cristalográfica).

El secado se realizó en las mesas del Laboratorio de materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Química, de la UNSAAC.

Para el proceso de cocción de las placas cerámicas, se realizó en función a la curva de cocción para la fabricación de ladrillos comerciales, investigado por Rocío Camacho y Saulo Zambrano.

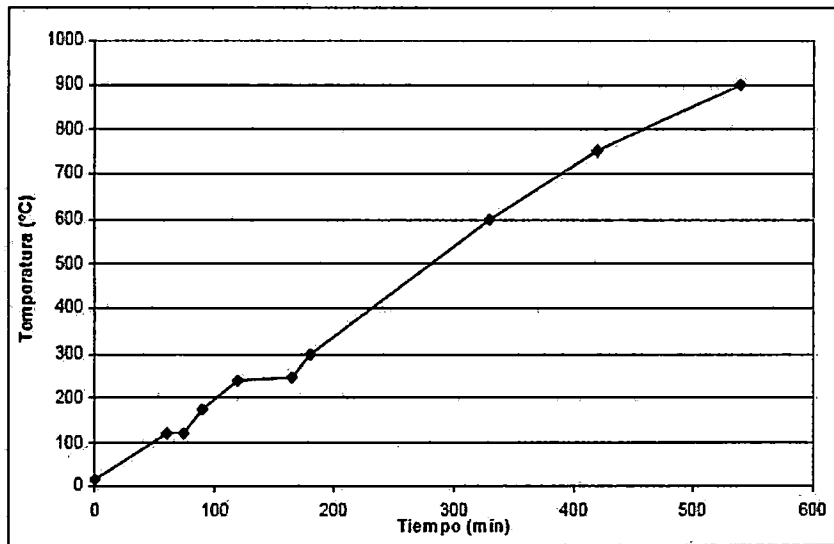


Figura N° 3.8. Curva de cocción en la fabricación de ladrillos comerciales
Fuente: Rocío Camacho y Saulo Zambrano, 2009

2) PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN LAS PLACAS CERÁMICAS, USANDO LA LEY DE FOURIER

Para calcular la conductividad térmica de la mezcla, es preciso realizar algunas modificaciones en la ecuación (2.14):

$$q_x = -k * \frac{dT}{dx} \Rightarrow q_x * dx = -k * A * dT$$

Integrando la ecuación entre los límites de cero a x, se tiene.

$$q_x * \int_0^x dx = -k * A * \int_{T_1}^{T_2} dT, \text{ evaluando la ecuación se tiene.}$$

$$q_x * x = -k * A * (T_2 - T_1) \Rightarrow q_x = -k * A * (T_2 - T_1), \text{ despejando K}$$

$$k = \frac{q_x * x}{A * (T_1 - T_2)} \quad (3.1)$$

Por otro lado, se sabe que:

$$W = q_x = V * I = I^2 * R = V^2 * R \quad (3.2)$$

Dónde:

W= Potencia eléctrica, watts

V= Voltios

I= Amperios

R = Ohmios

Reemplazando en la ecuación (3.1).

$$k = \frac{V * I * x}{A * (T_1 - T_2)} \quad (3.3)$$

Donde K está dado en $K = \frac{W}{m * ^\circ C}$

Con la ecuación N° 3.3, se calculó la conductividad térmica de la mezcla arcilla-mineral Sílice.

A) INSTALACION DEL EQUIPO CON LAS PLACAS

Para la medición de la conductividad térmica por el método de la placa caliente guardada, es necesario acondicionar las placas. A las placas se realizaron unos agujeros de 08 mm de diámetro y una profundidad de 3 cm y una distancia de hueco a hueco de 06 mm, realizándose en total 03 huecos, estos huecos se realizaron en la parte lateral de la placa.

La placa fuente se coloca en el medio de las placas, luego en los costados las placas muestras, luego se procede a aislar con fibra de vidrio para que el flujo de calor sea en una sola dirección, tal como muestra la figura N° 3.9

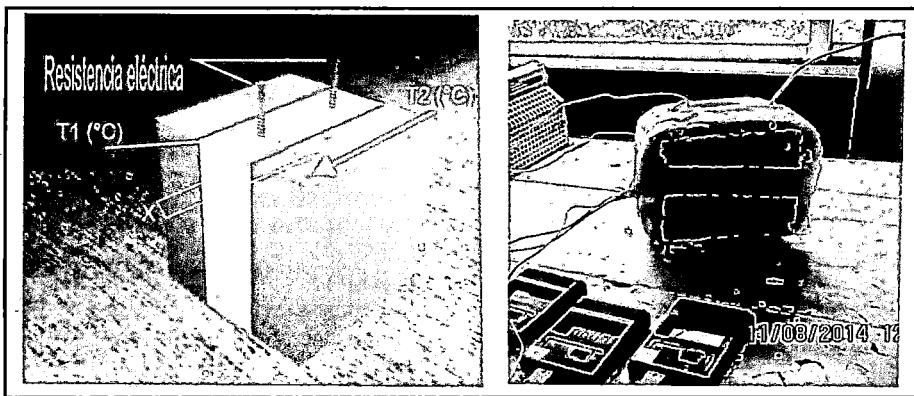


Figura N° 3.9. Placas muestra y el aislamiento correspondiente.

La figura N° 3.9, la de la izquierda muestra las placas muestras y en el medio la placa fuente o placa calefactora, la de la derecha muestra las placas muestras y la calefactora con su respectivo aislamiento, además se puede apreciar los cables de alimentación de la placa calefactora y las termocuplas de los termómetros digitales.

La figura N° 3.10, muestra los instrumentos usados en la prueba.

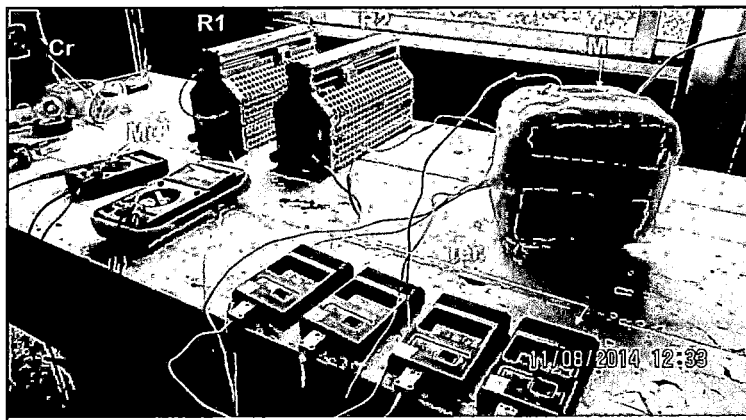


Figura N° 3.10. Instrumentos usados en la prueba.

Las codificaciones mostradas en la figura N° 3.10, indican lo siguiente:

Cr: cronometro, sirve para la cuantificación del tiempo usado en el experimento, mide en minutos.

M: en esta codificación están las placas muestra y la placa calefactora con sus respectivos cables de alimentación y termocuplas de los termómetros digitales

Mult: 02 multímetros, usados para medir el voltaje y la resistencia eléctrica con una corriente alterna.

R1 y R2 : 02 reóstatos usados para la medición de variación del voltaje y la intensidad eléctrica, medidos en voltios y amperios respectivamente, se usó 02 reostatos instalados en serie, con la finalidad de conservar el equipo, ya que uno solo, con el transcurso del tiempo se calienta y puede dañarse.

Ter: 04 termómetros digitales para medir la temperatura en, la placa calefactora, en 06 mm de la placa calefactora, 12 mm de la placa calefactora y 20 mm de la placa calefactora. Los termómetros digitales miden en grados Celsius (°C).

Se realizó 2 pruebas para determinar la conductividad térmica de la mezcla arcilla- sílice, en el Laboratorio de Física "C", de la Escuela Profesional de Fisica, con la asesoría del M.Sc. Físico: Julio Warthon Ascarza

En la tabla N° 3.6, se aprecia las temperaturas a medir para determinar la conductividad térmica de la mezcla arcilla mineral Sílice.

Tabla N° 3.6. Medición de la Temperaturas VS tiempo

Tiempo (minutos)	T 1°C	T2 °C	T3 °C	T4 °C

Para que la ley de Fourier sea válida fue necesario llegar al estado estacionario.

Estado estacionario.

El proceso caracterizado como un estado estacionario es un caso especial e importante, en el cual las condiciones dentro del volumen de control no cambian con el tiempo. Por lo tanto el volumen de control contiene una masa constante de fluido (Smith J.M. y Van Ness, 2007).

Un indicio de condiciones de estado estacionario en las pruebas, es la temperatura registrada por los termómetros, en el cual pasado un cierto tiempo, permanecen constantes, es allí donde termina la prueba y se prosigue a tomar de datos de las temperaturas, voltaje y amperaje.

3.2.6. CONSTRUCCION DE LA CAMARA DE COMBUSTION

Obtenido el material para la cámara de combustión, se prosiguió con la construcción, se realizó en forma similar al de la fabricación de las placas cerámicas. El proceso de construcción, secado y cocción de la cámara de combustión, se realizó en el Laboratorio de Cerámica y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Química, en el ambiente B-106.

A) MOLDE DE LA CAMARA DE COMBUSTION

El mineral Sílice, se realizó la molienda en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, de la Escuela Profesional de Civil, en tanto para la arcilla se procedió en forma manual. La arcilla y el mineral Sílice, se tamizaron a malla 100, luego se pesó por separado para luego realizar la mezcla en seco, en un recipiente más espacioso.

El molde usado, fue la que se usó para la construcción de la cámara de combustión madre. Un inconveniente que se vio al usar la cámaras de combustión con diámetro interno de 14.5, fue en el encendido, ya que es un reducido ambiente y se dificultaba en el encendido, además en un trabajo en campo las dimensiones de la leña no siempre se va contar con leñas con diámetro inferior a 5 cm , es por ello al diámetro interno se le vio por conveniente en aumentar en 1 cm, es por ello que se le introdujo por su parte exterior al tubo metálico un tubo de PVC, quedando con un diámetro interno de 16 cm, como se aprecia en la figura N° 3.11.

La pasta cerámica mezcla arcilla/ Sílice, se amasó en las mesas del laboratorio, esta operación se realizó con la finalidad de que, el agua, la arcilla y el mineral se mezcle y se homogenice en toda su estructura. Luego la pasta cerámica se guardó en bolsas de plástico de propileno, con la finalidad de dejar madurar la pasta.

Se guardó la pasta en bolsas por un espacio de 3 días. Para el moldeado de la pasta cerámica mezcla arcilla/ mineral Sílice, se realizó en forma similar a la cámara de combustión madre.

En la figura N° 3.11, de la izquierda muestra el como la arcilla preparada va tomando la forma del molde con el tubo metalico interior (se acopló un tubo de pvc, con el proposito de mejorar el diamtero interno de la camara de combustion final), y la deracha muestra la camara de combustion final húmedo.

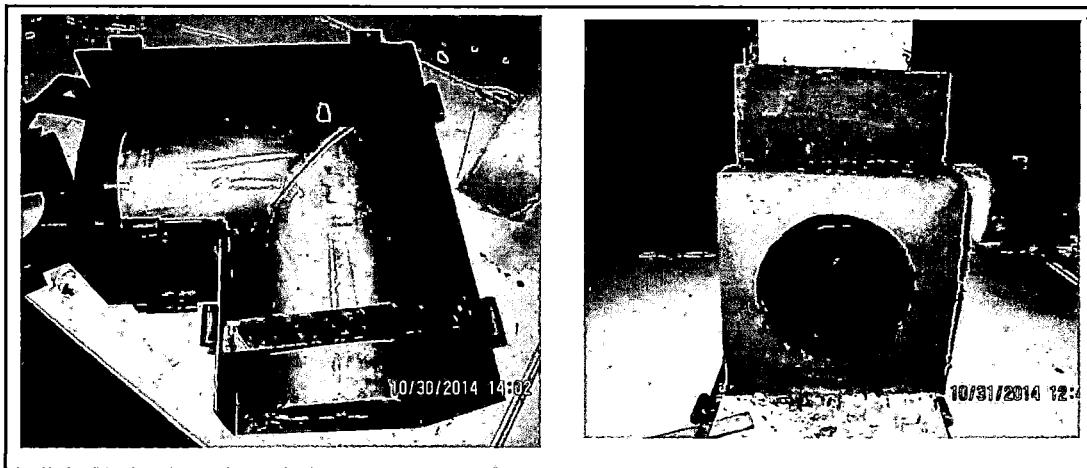


Figura N° 3.11. Proceso de moldeado y cámara de combustion

B) SECADO DE LA CAMARA DE COMBUSTION

Una vez moldeado la cámara de combustión, se procedió a desmoldar, para ello se desempernó las bisagras y se extrajo las 02 piezas de tubo.

El secado de la cámara de combustión se realizó en sombra, cubierta con una manta en la mesa del laboratorio, esto por 01 semana, luego se destapó la manta y se prosiguió con el secado por 01 semana más en el mismo sitio, a la 03 semana se le puso a la ventana del laboratorio para que los rayos solares lleguen la cámara de combustión y siga sacando el agua de la parte interior de la cerámica, en la ventana del laboratorio, estuvo 02 semanas.

La figura N° 3.12, muestra la cámara de combustión, seco y listo para proceder la cocción del mismo.

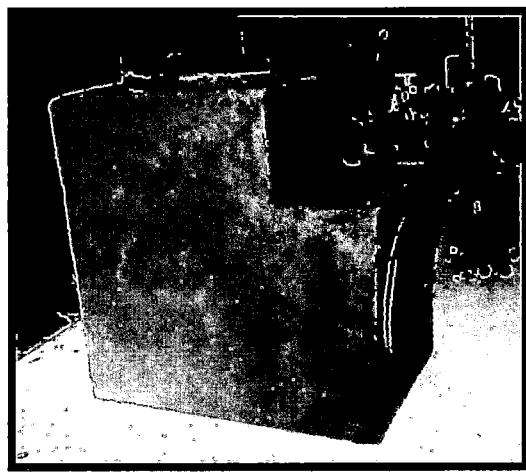


Figura N° 3.12. Cámara de combustión seco.

C) PROCESO DE COCCION DE LA CAMARA DE COMBUSTION

La cocción de la cámara de combustión, se realizó en el horno eléctrico del Laboratorio de Cerámica de la Escuela Profesional de Ingeniería Química. El procedimiento se realizó como en forma similar que las placas cerámicas. Inicialmente, se coloca en la base del horno eléctrico unas pequeñas cerámicas, sobre ello se coloca la cámara de combustión final (estó con la finalidad de que el calor caliente en uniformemente en toda su estructura de la cámara de combustión).

La figura N° 3.13, se aprecia la curva de cocción de la cámara de combustión

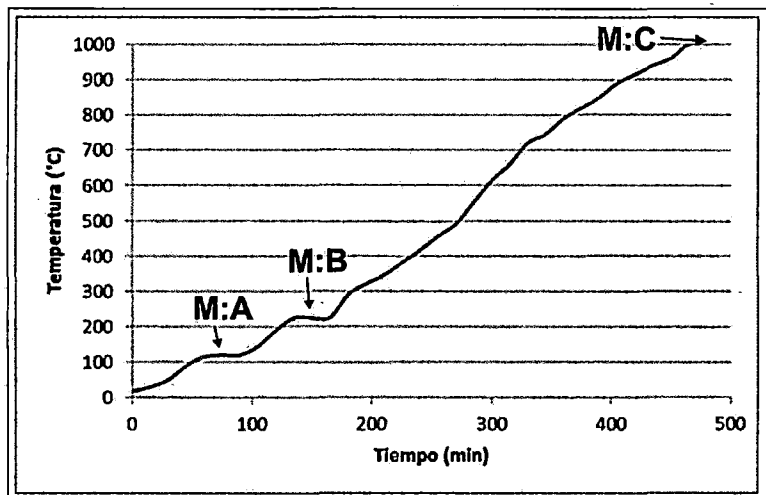


Figura N° 3.13. Curva de cocción de la cámara de combustión

En la figura N° 3.13, se aprecia las mesetas, como M: A (meseta A), a temperaturas entre 120 a 125 °C, y la M: B (meseta B), en estos punto es la extracción del agua agregada en la parte de amasado de la pasta cerámica y la eliminación de materia orgánica y llegar a una temperatura de cocción uniforme. La M: C (meseta C), corresponde a la temperatura de cocción (1000 °C), es preciso que llegado a los 1000 °C, mantener dicha temperatura, por un espacio de 30 minutos, para que se complete las reacciones de descomposición de los y del carbonato de calcio.

En la figura N° 3.14, se aprecia la cámara de combustión final, después del proceso de cocción y el enfriado.



Figura N° 3.14. Cámara de combustión, después del proceso de cocción

La figura N° 3.15, muestra el diagrama de flujo cualitativo en bloques para la fabricación de la cámara de combustión.

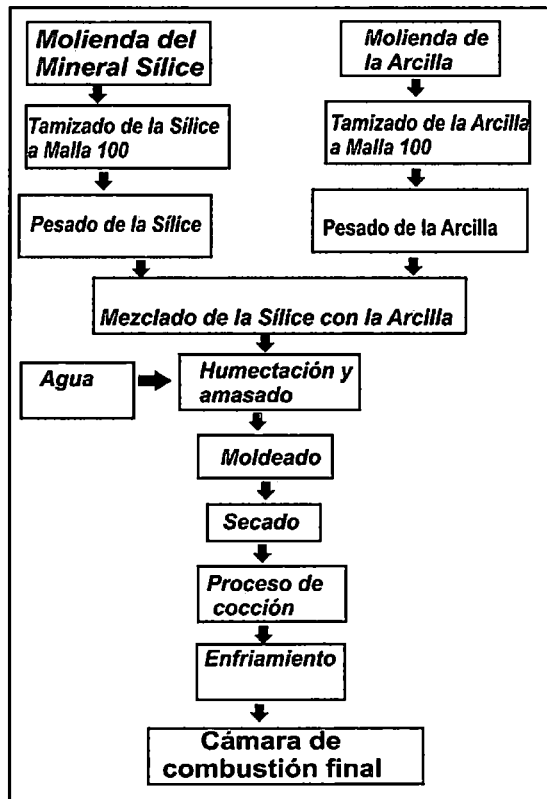


Figura N° 3.15. Diagrama de flujo cualitativo en bloques para la fabricación de la cámara de combustión.

3.2.7. DISEÑO Y MONTAJE DE LA PARTES MENORES DE LA COCINA MEJORADA

En este punto se detallan los métodos y procedimientos de partes menores de la cocina mejorada.

1) CUERPO DE LA COCINA MEJORADA

El cuerpo de la cocina mejorada es la parte donde se va a ensamblar las demás partes o componentes de la cocina mejorada.

Las dimensiones de las cocinas mejoradas (largo, ancho y altura de operación de la cocina), se tomaron de las investigaciones realizadas por la PUCP.

Las dimensiones de las cocinas mejoradas, según Álvarez, 2009, sugiere que el largo para dos ollas (2 hornillas), es de 1 m (100 cm), el ancho de 0.65 m y la altura de operación de 0.75 m, que en dichas condiciones los usuarios, tienen comodidad al momento de operar.

El cuerpo de la cocina mejorada propuesta en esta investigación es de material metálico, para que la cocina mejorada sea transportable (cocina portátil).

2) ESPESOR DEL AISLANTE

Es preciso aislar la cámara de combustión, en vista que al momento de operar la cocina mejorada, el calor generado de la combustión de la leña es almacenado en los materiales que lo componen la cocina, siendo la cámara de combustión en mayor cantidad, en vista que en este recinto donde se lleva a cabo la combustión. En consecuencia el uso de aislante en la cocina mejorada es para minimizar las pérdidas de calor y con ello mejorar la transferencia de calor por radiación y convección

La fabricación de los ladrillos aislantes cerámicos, fue en el Laboratorio de Materiales y cerámicos de la Escuela Profesional de Ingeniería Química, siendo la secuencia la siguiente.

- **Materia prima:** el material usado para la fabricación de ladrillos aislantes cerámicos, fue el mineral Sílice de la Japo-Lampa, Puno.
- **Preparación de la mezcla:** es la combinación del mineral Sílice, con el caolín (se agrega caolín con la finalidad de darle plasticidad a la mezcla), luego se mezcla en seco en un recipiente.
- **Humectación y amasado:** antes de llegar al moldeado, la mezcla preparada de mineral Sílice con el caolín, se humedece con agua para poder obtener la humedad precisa y facilitar en el moldeado
- **Moldeado:** se procedió al moldeado de la mezcla mineral Sílice con caolín y agua, en el molde que se uso fue de madera de 14.8 cm de largo y 15.20 cm de ancho y 2.5 cm de altura
- **Secado:** el proceso de secado fue en las mesas del Laboratorio, donde se elimina el agua agregada para la humectación.

- **Cocción:** la cocción de los ladrillos cerámicos aislante, fue en el horno eléctrico, la temperatura a la cual el mineral sílice y el caolín logran una estabilidad de dureza a 1200 °C.

Con esta operaciones y procesos, se obtiene ladrillos aislante cerámico, con conductividad térmica de 0.34 W/m-°C. La figura N° 3.16, muestra el ladrillo aislante cerámico, después del proceso de cocción.

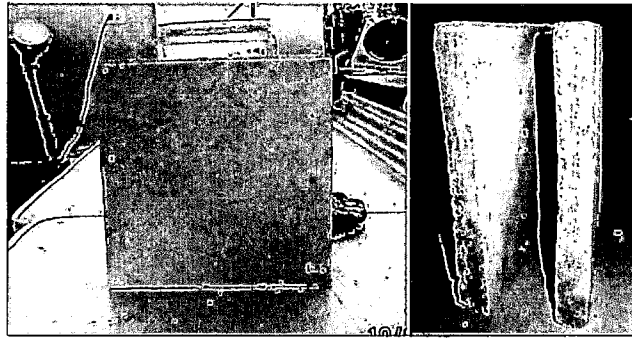


Figura N° 3.16. Ladrillo aislante cerámico

Las dimensiones del ladrillo aislante cerámico, son.

- Largo = 14.89 cm
- Ancho = 14.90 cm
- Espesor = 2 cm

No obstante Gonzales (2000), recomienda aparte del uso de ladrillos aislantes cerámicos, el uso de espumas aislantes de baja conductividad térmica, es por ello, que se usó fibra cerámica marca LuyangWool, cuya conductividad térmica es 0.158 W/m - K.

Para calcular el espesor del aislante, la cámara de combustión, aislante y carcasa metálica, se considera pared compuesta, usando la ecuación N° (2.16).

Realizando algunos arreglos se tiene que.

$$Q = \frac{T_{c.c.} - T_2}{R_1} * A = \frac{T_2 - T_3}{R_2} * A = \frac{T_3 - T_e}{R_3} * A = \frac{T_{c.c.} - T_{ext}}{R_1 + R_2 + R_3} * A \quad (3.4)$$

Siendo las resistencias térmicas.

$$R_1 = \frac{e_{c.c.}}{A * K_{c.c.}}; R_2 = \frac{e_{lad.}}{A * K_{lad.}}; R_3 = \frac{e_{aisl.}}{A * K_{aisl.}}$$

Dónde:

Q = Flujo de energía por conducción, J/s

A= Área de transferencia de calor, m²

e_{c.c.} = Espesor de la cámara de combustión, m

e_{lad.} = Espesor del ladrillo aislante, m

e_{aisl.} = Espesor de la fibra cerámica, m

$T_{c.c.}$ = Temperatura dentro de la cámara de combustión, °C

T_2 = Temperatura en la parte exterior de la cámara de combustión, °C

T_3 = Temperatura en la parte exterior de ladrillo aislante, °C

T_{ext} = Temperatura exterior, °C

3) CARCASA METALICA

Para que el sistema cámara de combustión, aislante estén confinados, es necesario una carcasa metálica, que sirva como un contenedor para que este bien fijada y no se mueva y para que el aislante cubra en su totalidad la cámara de combustión. El material de la cámara de combustión es de acero de tipo **A36**.

Como la cámara de combustión es una sola pieza, fue necesario que la carcasa metálica tenga especie de bisagras y tapa para introducir el aislante y luego cubrir la cámara de combustión y la tapa cierre herméticamente el sistema cámara de combustión, aislante.

Para que la olla este sostenida a una cierta altura, fue conveniente que la carcasa metálica tenga unos soportes de barra de acero de construcción de 3/8".

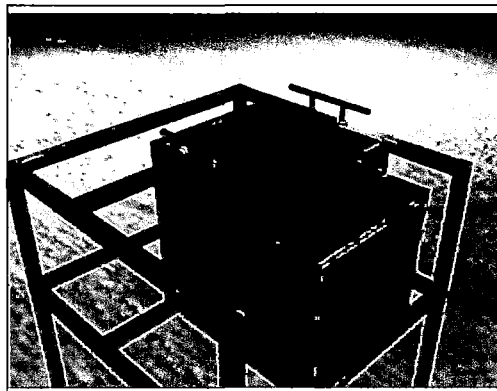


Figura N° 3.17. Carcasa metálica con soporte para la olla

Como se observa en la figura N° 3.17, se aprecia el soporte para la olla, de esta forma la olla estuvo sostenida a una altura más precisa.

4) CONSTRUCCION DE DISCOS METALICO Y CERAMICO

A) DISCO METALICO

El disco metálico es un accesorio que sirve como soporte de las chaquetas móviles y dispersar el fuego que sale de la cámara de combustión sobre la base y área lateral de la olla, sin ella, habría fugas de calor por debajo de la olla (ver plano 04).

B) DISCO CERÁMICO

Para evitar pérdidas de calor por el disco metálico, se prosiguió con la construcción del disco cerámico, dicho disco cerámico esta echo de mezcla en masa de arcilla de San Jerónimo y mineral Sílice (50%/50%).

Los pasos son similares al de la construcción de la cámara de combustión, La colocación del disco cerámico es sobre el disco metálico y presionado por las chaquetas móviles.

3.2.8. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LAS CHAQUETAS MOVILES

Con el fin de realizar los estudios de la influencia del GAP, en el desempeño de la cocina mejorada, se vio por conveniente usar chaquetas móviles de metal, acero tipo **A36**, que para ello, se calculó el diámetro exterior de la chaqueta (ver figura N° 3.18). La finalidad de las chaquetas móviles, es de tener la facilidad de cambiar una con otra (cada chaqueta móvil tiene una GAP establecido).

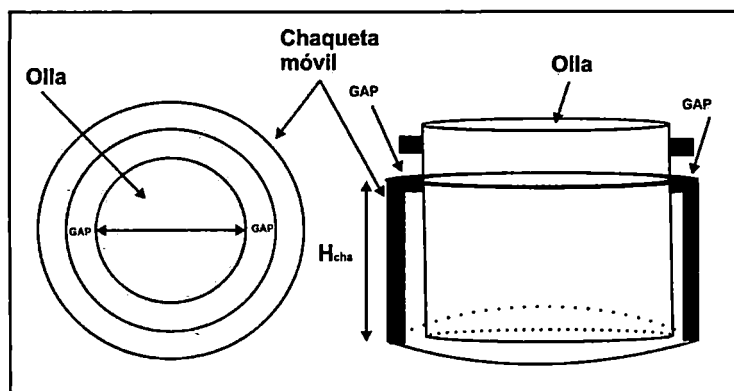


Figura N° 3.18. Configuración de la chaqueta móvil con la olla.

De la figura N° 3.18.

H_{cha} = Altura de la chaqueta móvil

D_{ext} = Diámetro exterior de la olla

GAP = Distancia radial olla- chaqueta

Las características de la olla usada son:

- Numero de olla: N° 30
- Diámetro interno : 28.20 cm
- Diámetro exterior : 30 cm
- Altura total : 25 cm

CALCULO DEL DIAMETRO DE LA CHAQUETA EXTERIOR.

En esta investigación se propuso usar GAP de 1 y 1.5 cm, en base la figura N° 3.17 y trabajos de investigación realizados.

Para un GAP de 1 cm

$$D_{cha} = D_o + 2GAP = 30 + 2 = 32 \text{ cm}$$

Para un GAP de 1.5 cm

$$D_{cha} = D_o + 2GAP = 30 + 3 = 33 \text{ cm}$$

ALTURA DE LA CHAQUETA

Estudios realizados en cocinas mejoradas domesticas muestran el balance entre la eficiencia térmica de la cocina (%) y la energía aprovechada por la olla (kW) y entre el GAP (mm) y la profundidad del alojamiento de la olla L (cm), (ver Fig. 3.19), esta grafica asume que la eficiencia térmica causada solo por mecanismo de radiación y convección en la base de la olla es 20% y que adicionalmente un tercio de la energía suministrada se encuentra en los gases de combustión que pasan por el GAP (Álvarez, 2009).

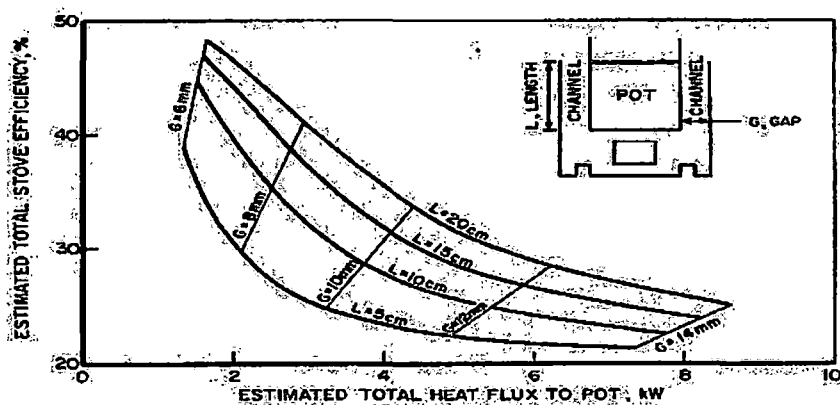


Figura N° 3.19. Balance entre eficiencia térmica y energía aprovechada por la olla en función al GAP y profundidad del alojamiento, dimensionada para cocinas domesticas.

Fuente: Baldwin, 1987.

De la figura N° 3.19, a medida que la altura de la olla disminuye y el GAP aumenta, el flujo de calor de la olla aumenta (potencia promedio), pero la eficiencia de la cocina disminuye, en vista que los gases calientes no están en contacto con la olla, y la olla demorar en hervir. Para esta investigación se optó

por mantener la altura de la chaqueta móvil constante y variar el GAP, con el fin de obtener una eficiencia térmica mayor al 25 %. Entonces la altura de la chaqueta móvil optada es de 15 cm, con esta altura garantizamos que la eficiencia térmica de la cocina estará en el rango de 25 a 35%.

Como las chaquetas móviles son de material metálico, ser necesario aislar por motivos de seguridad y para reducir pérdidas de calor por conducción y radiación, es por ello la ecuación N° 2.15 se procede a modificar.

$$q_r = \frac{2*\pi*L_{c.c.}*(T_{c.c.}-T_{ex})}{\frac{\ln\frac{r_2}{r_1} + \ln\frac{r_2}{r_1}}{K_{c.c.}} + \frac{1}{h*r_3}} \quad (3.5)$$

Donde:

q_r = Flujo de energía radial de calor por conducción

$L_{c.c.}$ = Longitud de la cámara de combustión, m

r_1 = Radio interior de la cámara de combustión, m

r_2 = Radio exterior de la cámara de combustión, m

r_3 = Radio exterior de la cámara de combustión + capa aislante, m

Derivando la ecuación N° (3.5), con respecto a r_3 .

$$\frac{dq_r}{dr_3} = - \frac{2*\pi*(T_{c.c.}-T_{ex})*\left(\frac{1}{K_{aisl}*r_3} - \frac{1}{h*r_3^2}\right)}{\left[\frac{1}{K_{aisl}}*\ln\frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{h*r_3}\right]^2} \quad (3.6)$$

El radio de la capa aislante asociado a la transferencia máxima de energía, o sea el radio crítico, se encuentra haciendo que $\frac{dq_r}{dr_3} = 0$, de la ecuación (3.6), se tiene que.

$$\frac{1}{K_{aisl}*r_3} = \frac{1}{h*r_3}, \text{ donde.}$$

$$r_{crit} = \frac{K_{aisl}}{h} \quad (3.7)$$

3.2.9. DISEÑO DE LA CHIMENA

Para el, diseño de la chimenea, se evaluó la cámara de combustión (cámara de combustión con parrilla metálica), para lo cual se realizó la PEA en la primera fase, de esta evaluación se calculó la velocidad de combustión (g/min), que es el dato más importante para empezar el cálculo del diámetro interno de la chimenea.

Para calcular el diámetro interno de la chimenea, se usó la ecuación N° 2.5 y para la altura de la chimenea, se usó la ecuación N° 2.6.

La chimenea se construyó de material de plancha metálica galvanizada de 1/40", curvada o rolada en forma de tubo, remachada en su unión, demás contando en la base de la chimenea con bridas, esto con el propósito de ensamblar la chimenea con el codo metálico y las chaquetas móviles.

3.2.10. DETERMINACION DEL GAP ÓPTIMO

Para la determinación del GAP óptimo, se evaluó la cocina mejorada con 1 y 1.5 cm de GAP, que para ello se construyó las chaquetas que permitieron crear GAP diferentes. La evaluación de la cocina mejorada, se realizó en el Laboratorio de Cerámica y Materiales de la Carrera Profesional de Ingeniera Química.

En la evaluación de la cocina se consideró los siguientes parámetros y variables.

Parámetros.

- Masa de la olla vacía
- Masa del agua
- Masa del contenedor de la leña
- Masa del contendor del carbón
- Masa del aislante
- Temperatura ambiental
- Temperatura inicial del agua
- Poder calorífico inferior de la leña
- Temperatura de ebullición local del agua

Variables independientes

- GAP

Variables dependientes

- Cantidad de leña consumida en la fase
- Consumo específico de combustible
- Velocidad de combustión
- Eficiencia térmica
- Potencia promedio
- Tiempo de duración de la fase

PROCEDIMIENTO DE LA EJECUCION DE LA PEA

A) 1° fase: fase de alta potencia con inicio frio

- 1.) Se pesó la masas de la olla vacía, contenedores para la leña y carbón, aislante (pedazo de madera), se anotó las masas en el formato de la PEA (Apéndice 1)
- 2.) Se pesó la masa de la leña y las astillas para la ejecución de las pruebas (leña 3kg aproximadamente, y las astillas fueron 120 g

aproximadamente), se anotó las masas. Las dimensiones de la leña fueron aproximadamente 3cm x 4 cm x 50 y de 60 cm de largo

- 3.) Se pesó la masa del agua equivalente de 5 L (la olla vacía se colocó en la balanza de 6 kg de capacidad, luego se vertió agua poco a poco hasta que la balanza indicó un volumen de 5L litros de agua), se midió las temperaturas del agua y del ambiente y se anotó.
- 4.) Se usó el accesorio de madera para la colocación de la termocupla del termómetro dentro de la olla a 5 cm por encima del fondo de la misma.
- 5.) Se limpió el interior de la cocina tanto la cámara de combustión, disco cerámico, las chaquetas metálicas (en las chaquetas metálicas como en el disco cerámico, hubo acumulación de hollines), para evitar la reducción del GAP.
- 6.) Se colocó la parrilla metálica en posición horizontal.
- 7.) Se introdujo los leños dentro de la cámara de combustión (03 leños), y encima las astillas en forma vertical, y se procedió al encendido.

- 8.) Con ayuda del cronometro se anotó el tiempo de inicio de la PEA. Cabe indicar que durante la prueba se atizó a con la ayuda de un trozo de leña delgada por debajo de la parrilla cada 8 minutos (por ratos el carbón obstaculiza el libre ingreso del aire por debajo de la parrilla y afecta la velocidad de combustión).

- 9.) Cuando la olla alcanzó la temperatura de ebullición local, se hizo lo siguiente.
 - a) Se anotó el tiempo que la olla alcanza la temperatura de ebullición local, durante 4 minutos
 - b) Se retiró el accesorio de madera para la termocupla, luego se retiró la olla, se colocó el aislante sobre la balanza y se pesó la masa del conjunto (olla + agua+ aislante).
 - c) Se retiró toda la leña de la cámara de combustión y se pesó junto con la leña no usada.
 - d) Se removi6 todo el carb6n de la c6mara de combust6n (con la ayuda de una esp6tula), incluido el carb6n de los le6os, se pes6 y se anot6.

B) 2° fase: fase de alta potencia con inicio caliente

- 1) Se pesó la masa del agua equivalente de 5 L (se realizó en forma similar al paso 1 de la primera fase).
- 2) Se colocó la leña sobrante de la prueba anterior, dentro de la cámara de combustión (3 leños), luego se prendió fuego (los leños estuvieron calientes y fue fácil encender los leños).

- 3) Se inició la medida del tiempo, con ayuda del cronómetro y se prosiguió con la prueba, se atizó con la ayuda de un trozo de leña delgada por debajo de la parrilla cada 8 minutos (el carbón obstaculiza el libre ingreso del aire por debajo de la parrilla y afectaba la velocidad de combustión).
- 4) Después de alcanzar la temperatura de ebullición y mantenerlo por 4 minutos, se realizó rápidamente los siguientes pasos (la rapidez es importante en esta fase porque se requirió mantener la temperatura del agua tan cerca a la temperatura de ebullición), la secuencia es similar a los paso 9, de la primera fase. La rapidez de este paso es por el hecho de que el agua no descienda mucho a la temperatura de ebullición local.

C) 3° fase: fase de baja potencia

En esta fase se evaluó la capacidad de la cocina en pasar a la fase de baja potencia después de la fase de alta potencia para hervir agua por 45 minutos, usando una cantidad mínima de leña.

- 1) Se colocó la olla con el agua hervida de la fase anterior en la cocina
- 2) Se colocó el accesorio de madera para la termocupla dentro de la olla
- 3) Se encendió fuego a la leña, la prueba no inició hasta que la temperatura del agua mida 3 °C por debajo del punto de ebullición local.
- 4) Se trató de mantener la temperatura del agua 3° C por debajo de la temperatura de ebullición, cuando la temperatura de la olla subía súbitamente, se sacó la leña de la cámara de combustión (se sacó un poco, pero la leña seguía ardiendo en el interior de la cámara de combustión)
- 5) Después de los 45 minutos, se realizó en forma similar al paso 9 de la 1° fase.

En la tabla N° 3.7, se detalla las variables a evaluar, con los GAP de 1 y 1.5 cm, siendo la masa de vapor de agua, se calcula por diferencia entre la masa de agua al inicio, menos la masa de agua al final de la fase, la misma secuencia posee el cálculo de la masa de la leña consumida en la fase. Para calcular la masa de leña seca convertida en energía, se usó la ecuación N° 2.18, los demás datos originados en la prueba, se detallan en el Apéndice 2.

Tabla N° 3.7. Evaluación de diferentes GAP

VARIABLES	PROMEDIO DE LAS FASES		
	1°	2°	3°
f_d (kg)			
V_{comb} (g/minuto)			
CE (g/L)			
P (kW)			
$\eta\%$			

Dónde:

f_d = Masa de leña seca convertida en energía

V_{comb} = Velocidad de combustión

CE = Consumo específico de combustible

P = Potencia promedio

η = Eficiencia térmica

Con los resultados de la tabla N° 3.7, se procederá a la selección del GAP, que arroje menor consumo de leña, mayor leña convertida en energía, alta velocidad de combustión, alta eficiencia térmica y potencia promedio.

3.2.11. BALANCE DE MASA Y ENERGIA EN LA COCINA MEJORADA

El balance de masa y energía es para calcular la eficiencia térmica, las pérdidas de calor en el cuerpo de la cocina mejorada, chimenea, asumiendo que la combustión es completa.

Para la realización del balance de masa y energía, se considera la cocina mejorada un proceso discontinuo por lotes, cada lote es la fase de la PEA (se promedió el resultado de las 2 primeras fases). Con el resultado de la evaluación de la cocina mejorada con los diferentes GAPs, se realizó el balance de masa y energía.

Del promedio de las 2 primeras fases, se tomó la leña consumida en la fase (f_m), y con este dato se empezó a realizar el balance de masa y energía, en tanto para el aire, no hay exceso de aire en vista que no se usó algún equipo para insuflar aire a la cámara de combustión.

A) BALANCE DE MASA

Para el balance de masa en el fenómeno de la combustión de la leña, se usó la composición descrita por Alvarez Harold, 2009 (ver figura N° 3.20).

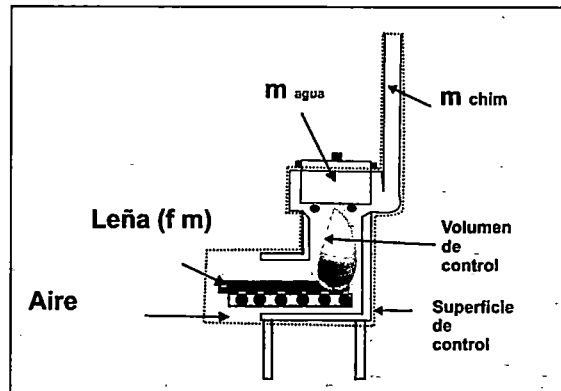


Figura N° 3.20, diagrama de flujo cualitativo del balance de masa en la cocina mejorada

Volumen de control

La región del espacio que es identificada para el análisis de sistemas abiertos, se llama volumen de control, se encuentra separada de sus alrededores mediante una superficie de control.

Puesto que la energía, como la masa se conserva, la rapidez de cambio de energía dentro del volumen de control es igual a la rapidez neta de transferencia de energía en el volumen de control. Las corrientes que fluyen dentro y fuera del volumen de control están asociadas con la energía en sus formas interna, potencial y cinética, todas contribuyen al cambio de energía del sistema, para nuestro caso el término acumulación de energía por el sistema es cero, entonces se tiene.

$$\left(\begin{array}{l} \text{masa total que entra} \\ \text{al volumen de control} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{masa total que sale} \\ \text{del volumen de control} \end{array} \right)$$

Del diagrama de flujo cualitativo del balance de masa en la cocina mejorada (ver figura 3.20) y con lo expuesto anteriormente, se cumple que.

$$f_m + \text{Aire} = m_{\text{chim}} \quad (3.8)$$

La ecuación N° 3.8, indica que la leña consumida, más el aire que ingresa a la cámara de combustión, es igual a la masa de los gases de combustión en la chimenea. Cabe indicar que el carbono contenido en la leña de eucalipto se quema completamente, por consiguiente, no hay formación de CO, hollín, material particulado.

Para calcular la densidad de los gases de combustión, se hace uso de las ecuaciones siguientes:

$$\rho_g = \frac{101325*(1-0.00012*h)}{R_o*T_{mh}} \quad (3.9)$$

$$R_o = \frac{R}{P_{Mg}} \quad (3.10)$$

$$P_{Mg} = 0.044 * \%CO_2 + 0.018 * \%H_2O + 0.032 * \%O_2 + 0.028 * \%N_2 \quad (3.11)$$

Donde:

h= Altura sobre el nivel del mar, m

R_o= Constante de elasticidad de los humos, J/kg - K

R= Constante universal de los gases, J/mol - K

P_{Mg} = Peso molecular de los humos, kg/mol

T_{mh} = Temperatura media de los humos, K

P_{Mg} = Peso molecular de los humos, kg /mol

%CO₂ = Porcentaje de CO₂ en el gas de chimenea

%H₂O = Porcentaje de H₂O en el gas de chimenea

%O₂ = Porcentaje de O₂ en el gas de chimenea

%N₂ = Porcentaje de N₂ en el gas de chimenea

0.044 = Peso molecular del CO₂, expresado en kg/mol

0.018 = Peso molecular del H₂O, expresado en kg/mol

0.032 = Peso molecular del O₂, expresado en kg/mol

0.028 = Peso molecular del N₂, expresado en kg/mol

B) BALANCE DE ENERGIA

Con el balance de energía se calcula las pérdidas de calor en el cuerpo de la cocina mejorada (Q_{pc}), eficiencia térmica teórica (η_t), con la distribución de calores los demás componentes de la cocina mejorada (ver figura N° 3.21).

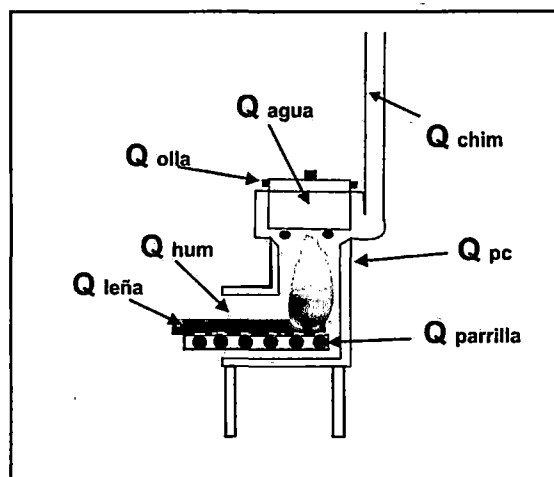


Figura N° 3.21, diagrama cualitativo del balance de energía en la cocina mejorada.

Por efecto del balance de energía, se considera igual que al balance de masa, como un proceso discontinuo de lotes, tomando en cuenta valores experimentales de la evaluación de la cocina mejorada.

El resultado del balance de energía, se expresa matemáticamente l siguiente ecuación.

$$Q_{leña} = Q_{hum} + Q_{olla} + Q_{agua} + Q_{carbon} + Q_p + Q_{chim} + Q_{pc} \quad (3.12)$$

Dónde:

$Q_{leña}$ = Energía producida por la combustión de la leña, kW

Q_{hum} = Energía perdida por la humedad de la leña, kW

Q_{olla} = Energía almacenada por la olla de aluminio, kW

Q_{agua} = Energía ganada por el agua, kW

$Q_{carbón}$ = Energía perdida en los residuos del carbón, kW

Q_{parr} = Energía perdida en la parrilla metálica, kW

Q_{chim} = Energía perdida en la chimenea, kW

Q_{pc} = Energía perdida en el cuerpo de la cocina mejorada, kW

La ecuación para calcular la energía producida por la combustión de la leña, es la siguiente.

$$Q_{leña} = \frac{f_m * PCI}{t_{eb}} \quad (3.13)$$

f_m = Masa de la leña en la fase , kg

PCI = Poder calorífico inferior del combustible, kJ/kg

t_{eb} = Tiempo de ebullición del agua (tiempo que dura la fase), minutos

La ecuación para calcular la energía perdida por la humedad de la leña, es la siguiente.

$$Q_{hum} = \frac{1.12 * f_m * PCS}{t_{eb}} \quad (3.14)$$

Dónde:

PCS= Poder calorífico superior del combustible, kJ/kg

La ecuación para calcular la energía almacenada por la olla de aluminio, es la siguiente.

$$Q_{olla} = \frac{m_{olla} * C_p_{olla} * (T_{olla} - T_{amb})}{t_{eb}} \quad (3.15)$$

m_{olla} = Masa de la olla, kg

C_p_{olla} = Capacidad calorífica de la olla, J/kg-°C

T_{olla} = Temperatura de la olla, °C

T_{amb} = Temperatura ambiental, °C
 t_{eb} = Tiempo de ebullición del agua, s

La ecuación para calcular la energía ganada por el agua, es la siguiente.

$$Q_{agua} = \frac{m_{agua\ f} * C_{p\ agua} (T_{eb} - T_i) + m_{vapor} * \lambda}{t_{eb}} \quad (3.16)$$

$m_{agua\ f}$ = Masa de agua al final de la prueba, kg
 m_{vapor} = Masa de vapor, kg
 λ = Calor latente de vaporización, kJ/kg
 $C_{p\ agua}$ = Capacidad calorífica del agua, kJ/kg*°C
 T_{eb} = Temperatura de ebullición del agua, °C
 T_i = Temperatura inicial del agua, °C
 t_{eb} = Tiempo de ebullición del agua, °C

La ecuación para calcular la energía perdida en los residuos del carbón, es la siguiente.

$$Q_{carbon} = \frac{\Delta C * 1.5 * PCI}{t_{eb} * 60} \quad (3.17)$$

ΔC = Masa de carbón producido durante la fase, kg

La ecuación para calcular la energía perdida por la parrilla metálica, es la siguiente.

$$Q_{parr} = \frac{m_p * C_{p\ p} * (T_{cc} - T_{amb})}{t_{eb}} \quad (3.18)$$

m_p = Masa de la parrilla metálica = 1.44 Kg.
 $T_{c.c.}$ = Temperatura promedio dentro de la cámara de combustión, °C
 T_{amb} = Temperatura ambiental, °C
 $C_{p\ p}$ = Capacidad calorífica del acero de construcción, J/kg-K

La ecuación para calcular la energía perdida por la chimenea, es la siguiente.

$$Q_{chim} = \frac{m_{chim} * C_{p\ chim} * \Delta T_{chim}}{t_{eb}} \quad (3.19)$$

m_{chim} = Masa de los gases en la chimenea, kg
 $C_{p\ chim}$ = Capacidad calorífica de los gases de la chimenea, kJ/kg- °C
 ΔT_{chim} = Temperatura media de los gases de la chimenea, °C

El cálculo de la energía perdida por el cuerpo de la cocina mejorada, se reemplazando en la ecuación N° 3.7

3.2.12. COMPARACION DE LA COCINA MEJORADA PROPUESTA CON LA COCINA TRADICIONAL (FOGON), DE LA PROVINCIA DE URUBAMBA

La cocina tradicional o fogón, que en el idioma quechua es Q'oncha, es un dispositivo que sirve para quemar leña, de uso común para los pobladores de las áreas rurales. Su construcción es con materiales propios de la zona (el adobe es el material más abundante), son de fácil adquisición, por consiguiente resulta barato construir un fogón.

Baldwin, 1987, realizó un estudio detallado de las cocinas a fuego abierto en los países de la India, Uganda, cuyas experiencias demuestran que los fuegos abiertos pueden llegar a quemar el 100 % de la leña, pero solo el 8% de esta energía es absorbida por la olla, el resto es perdido en el ambiente, tal como se muestra en la figura N° 3.22.

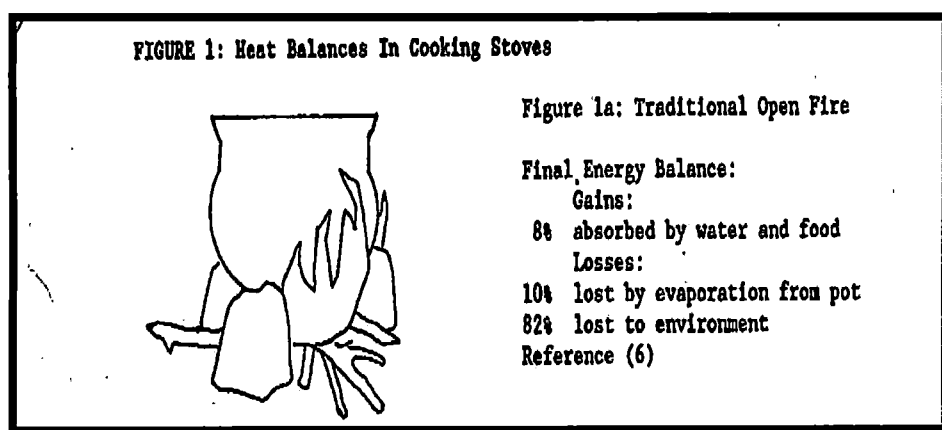


Figura N° 3.22. Balance de energía en cocinas a fuego abierto
Fuente: Baldwin, 1987.

Por otra parte MEM, 2009, sostiene que la eficiencia de las cocinas tradicionales a leña es de 10% aproximadamente, mientras que para las cocinas mejoradas a leña alcanzan un 25% de eficiencia.

Se evaluó un fogón (Q'oncha) tradicional (ver figura N° 3.23), de uso doméstico, de la ciudad de Urubamba, de material de adobe, con amalgama de barro con paja, tiene una cámara de combustión cuadrada, no posee parrilla metálica, la olla no están protegidas, la altura de operación de la cocina es de 60 cm con respecto al piso, el ancho es de 55 cm, no cuenta con chimenea.



Figura N° 3.23: Fogón tradicional.

Donde las deficiencias encontradas son:

- No cuenta con un adecuado diseño de la cámara de combustión, por la forma geométrica cuadrada, la cámara de combustión no está aislada, por lo que el adobe absorbe calor y esto se disipa en el exterior.
- El espesor de la cámara de combustión es de 14 cm
- Las ollas no están posicionadas adecuadamente en la cocina, las ollas están encima de las hornillas, no posee altura de la olla con respecto a la cámara de combustión
- Las ollas no están protegidas, no posee GAP, y por consiguiente no posee chaqueta.
- No cuenta con un adecuado sistema de extracción de gases (humo), por lo que en el techo de observo acumulación de hollines.

Con la evaluación de la cocina tradicional se obtuvo información de la potencia promedio y la eficiencia térmica del fogón, para luego comparar con la cocina mejorada propuesta en su capacidad de ahorrar leña.

En la figura N° 3.24, se detalla los componentes y partes de la cocina tradicional.

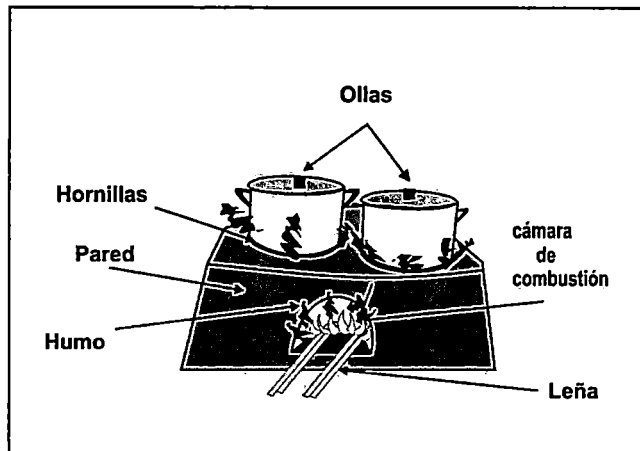


Figura N° 3.24. Esquema de la cocina tradicional.

De la figura N° 3.24, las ollas se colocan directamente sobre las hornillas, que son hechas con barro preparado, en tanto la forma de la cámara de combustión es forma trapezoidal, la leña se coloca dentro de la cámara de combustión, a medida que la combustión de la leña progresa, el humo sale por la puerta y por la base de las ollas, por lo que estas cocinas tradicionales no cuentan con chimenea para una adecuada evacuación de los gases proveniente de la combustión. El espesor de la pared de la cámara de combustión es el espesor del adobe (10 cm), más el barro preparado que sirve para proteger al adobe y mantener el calor dentro de la cámara de combustión, que es aproximadamente 4 cm.

A) PROCEDIMIENTO

El procedimiento es similar como el descrito para la evaluación de GAP.

Antes de empezar con la evaluación del fogón tradicional, se realizó una limpieza y restos de carbón en la cámara de combustión, luego se procedió a bloquear el conducto a la segunda olla para poder evaluar la primera olla y así tener las mismas condiciones que con la cocina mejorada.

Para realizar la evaluación de fogón tradicional en la provincia de Urubamba, las dimensiones de la leña se siguió conservando de 3 cm x 4 cm x 50 cm de largo y se considera que la humedad de la leña sigue en 11.80 % (ver anexo N° 1, análisis 2).

La evaluación consistió en similar al de la evaluación de los GAPs, solo que la 3° fase no se pudo ejecutar, en vista que fue difícil regular la intensidad del fuego.

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA CAMARA DE COMBUSTION EN FORMA DE "L"

En el diseño y construcción de la cámara de combustión, fue necesario establecer la altura interior de la cámara de combustión, luego procediéndose a obtener un material adecuado para la cámara de combustión y finalmente la construcción de la cámara de combustión con mezcla en masa de arcilla de San Jerónimo con el mineral Sílice de Lampa-Puno.

4.1.1. SELECCIÓN DE LA ALTURA INTERIOR DE LA CAMARA DE COMBUSTION

La selección de la altura interior de la cámara de combustión, consistió en realizar la prueba de ebullición del agua (PEA), en la 1° fase, para realizar las pruebas, se acondicionaron las cámaras de combustión (ver figura 4.1).

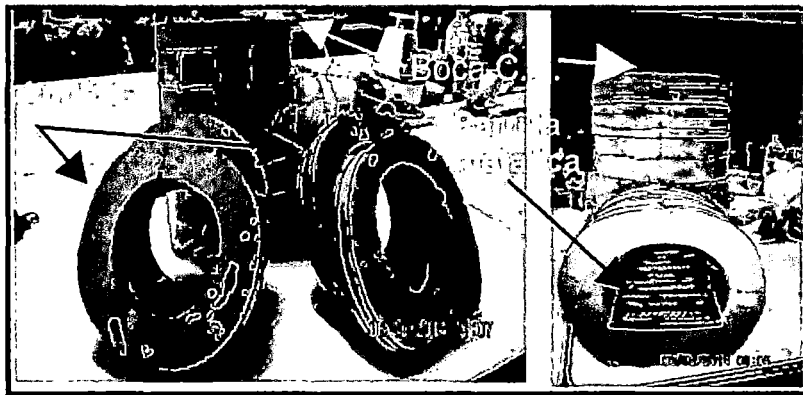


Figura N° 4.1. Cámaras de combustión

Las características de las cámaras de combustión se detallan en la tabla N° 4.1.

Tabla N° 4.1: Características de las cámaras de combustión

DIMENSION	C.C.1	C.C.2	C.C.3
Altura interior (cm)	24.00	29.00	35.00
Largo interior (cm)	24.00	29.00	35.00
Diámetro interno (cm)	14.30	14.3	14.3
Diámetro externo (cm)	19.50	19.50	19.50
Espesor (cm)	3.10	3.10	3.10

*C.C.1= Cámara de combustión 1; C.C.2= Cámara de combustión 2;
C.C.3= Cámara de combustión 3*

Para realizar las pruebas con las cámaras de combustión, se diseñó la parrilla metálica.

A) CALCULO DE LA ALTURA DE LA OLLA CON RESPECTO A LA BOCA DE LA CAMARA DE COMBUSTION, G_c

El cálculo de G_c , se realizó usando las ecuaciones (2.1), (2.2), y (2.3).

A) Calculo del área de la cámara de combustión ($A_{c.c.}$)

$$r_{c.c.} = \frac{14.3cm}{2} = 7.15 \text{ cm}$$

$$A_{c.c.} = \pi * (7.15)^2 = 160.61 \text{ cm}^2$$

B) Calculo del perímetro de la cámara de combustión ($P_{c.c.}$)

$$P_{c.c.} = 2 * \pi * 7.15 = 44.92 \text{ cm}$$

C) Calculo de G_c .

$$G_c = \frac{A_{c.c.}}{P_{c.c.}} = \frac{160.61}{44.92 \text{ cm}} = 3.58 \text{ cm} \cong 3.50 \text{ cm.}$$

Para que la olla este a 3.5 cm de la boca de cámara de combustión, se usó piezas de arcilla cocida en forma rectangular con un espesor de 3.5 cm, lo cual garantizó la altura requerida.

C) RESULTADOS DE LA SELECCIÓN DE LA ALTURA INTERIOR DE LA CAMARA DE COMBUSTION

Para la medición de la temperatura del agua en la olla se instaló una termocupla tipo "K", dentro de la olla a 5 cm del fondo de la olla, tal como indica la PEA (ver figura N° 4.2).



Figura N° 4.2: Termocupla dentro de la olla.

Los parámetros en la prueba fueron:

- Masa de la olla vacía= 580 g
- Masa del contenedor de leña= 560 g
- Masa de la leña = 1.5 a 2 kg
- Masa de astillas = 120 g
- Masa del contenedor del carbón= 310 g
- Masa del aislante (pedazo de madera, que se usa para proteger la balanza cuando el agua o la leña estén calientes) = 600 g
- Masa del agua equivalente a 5 L = 5.00 kg

Las pruebas se realizaron a un 80 % de la capacidad de la cámara de combustión aproximadamente (3 a 4 leños), con diámetros aproximados de los leños de 3 a 4 cm y 60 cm de largo.

Se procede a realizar los cálculos para la cámara de combustión 2 (altura interior de 29 cm), como modo de explicar los resultados que figuran en la tabla N° 4.3. En el Apéndice 2, se detallan los datos originados en la prueba como la masa de leña al inicio de la prueba, masa de leña que sobra al final de la fase, masa de astillas, masa de carbón formado en la fase y el tiempo que dura la fase.

1) Calculo de la leña consumida , f_m

Humedad de la leña, 9.36 % (Anexo 1, análisis 1).

Leña al inicio de la fase (leña + astillas) = 1.15 + 0.20= 1.35 kg

Leña que sobra al final de la fase = 0.20 kg

Cálculo de la leña consumida, reemplazando en la ecuación (2.19), se tiene.

$$f_m = 1.35 - 0.20 = 1.15 \text{ kg}$$

2) Calculo de la leña convertida en energía, f_d

Para los cálculos de la masa de carbón, no se considera la masa de la ceniza. Los cálculos realizados se describen a continuación.

La masa del carbón, resulta de la resta de la masa total pesada (masa del carbón+ masa del contenedor+ masa del aislante) – (masa del contenedor + masa del aislante), este resultado es el que se muestra en el Apéndice 2.

Cálculo de la leña convertida en energía, ecuación (2.20), se tiene.

$$f_d = 1.15 * (1 - 1.12 * 0.0936) - 1.5 * 0.090 = 0.89 \text{ kg}$$

Los resultados de los cálculos de la masa de leña consumida en la fase y la masa de la leña convertida en energía, se detallan dichos valores en el Apéndice N° 2.

3) Cálculos de la potencia promedio

Masa de agua al inicio de la prueba = 4.98 kg

Masa al final de la prueba = 4.38 kg

Masa de vapor producido en la prueba = 4.98 – 4.38 = 0.60 kg

Para calcular la potencia promedio se requiere de estos datos.

$C_{p_{agua}}$ = Capacidad calorífica del agua, 4.184 kJ/kg °C (la capacidad calorífica del agua a una temperatura promedio de 17.5 °C), (Holman, 1999, tabla A-S)

λ = calor latente de vaporización a 89 °C (temperatura de ebullición del agua en el Cusco), 2285.41 kJ/kg. (Incropera, 1999, tabla A-6)

t_{eb} = 31 minutos (Apéndice 2).

Reemplazando en la ecuación (2.24), se tiene.

$$P = \frac{4.38 * 4.184 * (89.10 - 18.80) + 0.60 * 2258.41}{31 * 60} = 1.42 \text{ kW}$$

La energía captada por la olla es a 1.42 kW de potencia.

4) Calculo de la eficiencia térmica

El poder calorífico bruto de la leña de eucalipto es 4076.2 cal/g (Álvarez, 2009), convirtiendo al SI, se tiene.

$$PCS = 4076.2 \frac{\text{cal}}{\text{g}} * \frac{4.1868 \text{ J}}{1 \text{ cal}} * \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} = 17066234.16 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 17066.234 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Para el cálculo del poder calorífico inferior se usa la ecuación (2.11), del cual se tiene.

$$PCI = 0.9 * 17066.234 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 15359.61 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Reemplazando valores en la ecuación (2.23).

$$\eta = \left(\frac{4.38 * 4.184 * (89.10 - 18.30) + 0.6 * 2258.41}{0.89 * 15359.61} \right) * 100\% = 19.32\%$$

La energía captada por la olla representa el 19.32 % de eficiencia térmica.

En la tabla N° 4.2, se parecía los resultados de la evaluación de las cámaras de combustión.

Tabla N° 4.2. Variables calculadas para las cámaras de combustión.

Cámara de combustión (C.C.)	1	2	3
Numero de prueba	Promedio	Promedio	Promedio
P (kW)	1.78	1.42	1.02
η	0.1799	0.1932	0.1544
η %	18.00	19.32	15.44

Según la tabla N° 4.2, la cámara de combustión 1 (altura interior de 24 cm), arroja una eficiencia térmica de 18.00%, mientras que la cámara de combustión 2 (altura interior de 29 cm), arroja una eficiencia térmica de 19.40%, pero la cámara 3 (altura interior de 35 cm), arroja una eficiencia térmica de 15.44%, este valor es el más bajo en referencia de las 2 cámaras restantes, se debe a que los gases caliente, provenientes de la combustión, se enfrían en el trayecto y por consiguiente la olla intercepta poca energía, en cambio para la cámara de combustión 1 (altura interior de 24 cm), su eficiencia térmica baja, se debe que los gases de la combustión no tienen tiempo suficiente para mezclarse con el aire y quemarse, tal como lo que sostiene Baldwin, 1987.

Por otro lado a medida que se reduce la altura del lecho del combustible a la base de la olla ($H_{\text{Lech-olla}}$), los gases de combustión no tendrán tiempo suficiente para mezclarse con el aire y quemarse dentro de la cámara, incrementando las emisiones de CO e hidrocarburos a la salida de la chimenea (Baldwin, 1987). Por lo que se puede decir que la elección de la distancia entre el lecho del combustible al base de la olla principal es el equilibrio entre la energía transmitida por radiación y la calidad de la combustión (Baldwin, 1987).

La altura de la cámara de combustión es un factor que influye en la eficiencia térmica por radiación y la eficiencia de combustión. Estudios realizados en cocinas mejoradas domesticas indican que la distancia entre el lecho del combustible y la base de la olla ($H_{\text{Lech-olla}}$) debe de estar entre 200- 300 mm (Álvarez, 2009).

En base los resultados de la Tabla N° 4.2 y las recomendaciones anteriores descritas, se opta por tomar como altura interior de la cámara de combustión: 29 cm.

4.1.2. CAMARA DE COMBUSTION

A) Construcción

El material de la cámara de combustión es una mezcla de Arcilla procedente de San Jerónimo y el mineral Sílice, procedente de Lampa- Puno.

Las dimensiones de la cámara de combustión, fue reduciéndose en base medida que esta estaba secando.

Tabla N° 4.3.Dimensiones interiores y contracciones: Cámara de combustión

DIMENSION	Cámara de combustión húmeda (cm)	Cámara de combustión seca %(contracción)	Cámara de combustión después de la cocción %(contracción)
Altura	29.80	6.38	1.43
Largo	29.80	6.38	1.43
Ancho	23.00	5.65	1.84
Diámetro	16.20	4.32	1.29
Espesor	3.40	8.82	3.23

Como se observa en la tabla N° 4.3. Las reducciones de las dimensiones interior en la cámara de combustión son de 6.38 %, en el proceso de secado y 1.43 % en el proceso de cocción de la cámara de combustión, el agua agregada para preparar la pasta, se evapora lentamente (agua intersticial), como el agua se elimina entonces queda espacios vacíos, en cambio para el proceso de cocción de la cámara de combustión es de 1.43 %, lo que indica que en este proceso la liberación del agua higroscópica y cristalográfica y descomposición de los minerales, es poco .

B) DETERMINACION DE LA CONDUCTIVIDA TERMICA DE LA ARCILLA Y MINERAL SILICE

MEDIDA DE LAS TEMPERATURAS

Para que la ley de Fourier sea válida fue necesario llegar al estado estacionario, un indicio de ello es los termómetros digitales, la temperatura medida no cambia con el tiempo (permanece constante).

La figura N° 4.3, muestra el preciso instante donde las temperaturas permanecen constante con el tiempo.

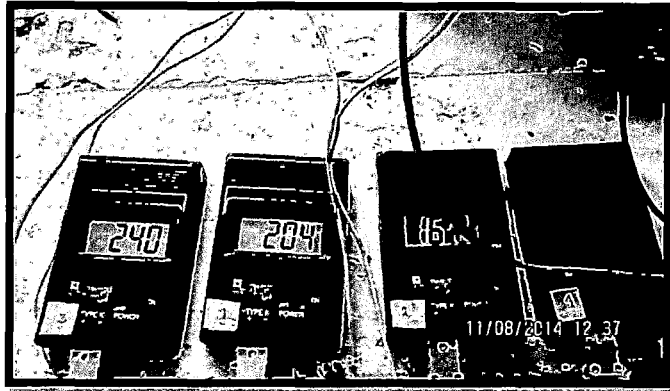


Figura N° 4.3. Temperatura registrada en la determinación de la conductividad térmica.

1) CALCULOS PARA DETERMINAR LA CONDUCTIVIDAD TERMICA

Las pruebas se realizaron con un voltaje de 125 V. y una intensidad de corriente 0.84 amperios.

A) Primer prueba :

En la tabla N° 4.4, muestra las temperaturas registradas de los termómetros, en función al tiempo.

Tabla N° 4.4. Temperaturas VS tiempo, para la prueba 1

Tiempo (minutos)	T 1°C	T2 °C	T3 °C	T4 °C
250	240.00	203.00	165.20	145.5
255	239.80	204.00	166.90	146.70
260	240.00	204.00	167.40	147.40

Una vez que se estabilizó las temperaturas, se prosiguió a la toma de datos como son:

Para una temperatura en la placa calefactora de 240°C, la medición tanto del voltaje como la intensidad de corriente en sistema alterno fue:

Voltaje =125 V, pero la placa calefactora caliente a ambas placas tal como se muestra en la figura N° 3.11 (izquierda). Es por ello que el voltaje se divide entre 2, lo cual queda como $125/2= 62.5V$.

Amperaje = 084 amp.

Las características de la placa muestra se muestran a continuación:

Tabla N° 4.5: Distancia de huecos para los termómetros

Distancia	Unidad	
	cm	m
X1	0.600	0.006
X2	1.200	0.012
X3	2.000	0.020

De la tabla N° 4.5.

X1: Indica la distancia de separación entre la placa calefactora y el termómetro 01.

X2: Indica la distancia de separación entre la placa calefactora y el termómetro 02.

X3: Indica la distancia de separación entre la placa calefactora y el termómetro 03.

Calculo del área de flujo de calor

$$A = \text{largo} * \text{ancho} = 0.14 * 0.142 = 0.01988 \text{ m}^2$$

Calculo de la diferencias de temperaturas.

La diferencia de temperatura es la temperatura medida en un punto (alejado de la placa calefactora) y la temperatura medida en la placa calefactora.

En la tabla N° 4.6, muestra la diferencia de temperaturas.

Tabla N° 4.6. Diferencia de temperaturas, respecto a la fuente de calor para la prueba 1

Tiempo (minutos)	dT2-1	dT3-1	dT4-1
250	37.00	74.80	94.10
255	35.80	72.90	93.10
260	36.10	72.60	92.60

Calculo de la conductividad térmica de la placa muestra.

Según la tabla N° 4.6, la diferencia de temperatura entre el termómetro 2 (dT2-1), es 36.10, y reemplazando datos en la ecuación (3.1).

$$k = \frac{V * I * x}{A * (T_1 - T_2)} = \frac{62.5 \text{ V} * 0.84 \text{ A} * 0.006 \text{ m}}{0.01988 \text{ m}^2 * 36.10 \text{ }^\circ\text{C}} = 0.439 \frac{\text{W}}{\text{m} - \text{ }^\circ\text{C}}$$

Para una diferencia de temperatura entre el termómetro 02 y la placa calefactora (dT3-1), de 72.6, reemplazando en la ecuación 3.1, se tiene.

$$k = \frac{V * I * x}{A * (T_1 - T_2)} = \frac{62.5 * 0.84 * 0.012}{0.01988 * 72.6} = 0.437 \frac{W}{m - ^\circ C}$$

Para una diferencia de temperatura entre el termómetro 03 y la placa calefactora (dT3-1), de 92.6, reemplazando en la ecuación (3.1) se tiene.

$$k = \frac{V * I * x}{A * (T_1 - T_2)} = \frac{62.5 * 0.84 * 0.02}{0.01988 * 92.60} = 0.57 \frac{W}{m - ^\circ C}$$

En la figura N° 4.4, se muestra la gráfica Temperatura VS Distancia, para la primera prueba.

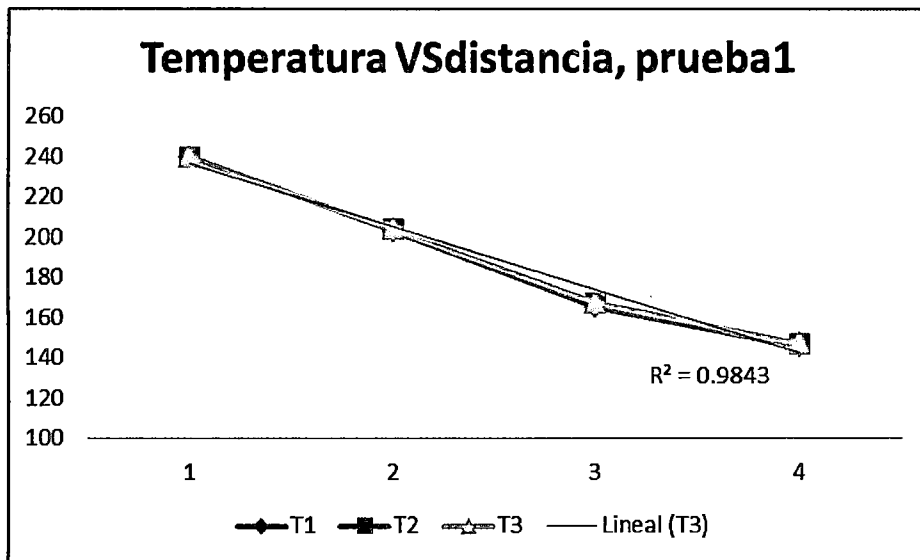


Figura N° 4.4. Temperatura Vs Distancia, prueba 1

De la figura N° 4.4, se aprecia que el punto 4, está ligeramente por encima de la línea de tendencia, lo que el punto 3 también se muestra ligeramente por la línea de tendencia. Como se nota en la figura anterior demuestra que el último termómetro no alcanzó el estado estable, por motivos de tiempo es lo que no se pudo conseguir el estado estacionario en el termómetro 4, por consiguiente se descarta este valor.

Por otro lado el valor de R, del ajuste de la línea se muestran como R= 0.984, significando que los puntos dan a una recta, porque lo que se registró las temperaturas cada 5 minutos, por lo que la variación de la temperatura con el tiempo no se en los termómetros no es significativa.

Conductividad térmica promedio para la prueba 1

Para fines de cálculo, la conductividad térmica de la prueba k_1 , se procede a tomar el valor promedio.

$$k_1 = \frac{0.439 + 0.437}{2} = 0.438 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

B) Segunda prueba :

El procedimiento de la determinación de la conductividad térmica para las placas muestra se procedió como en el primer caso, solo para esta prueba, se trabajó con 02 termómetros, ya que la prueba toma su tiempo, se decidió por conveniencia trabajar con 02 termómetros.

Tabla N° 4.7. Temperaturas VS tiempo para la prueba 2

Tiempo (minutos)	T 1°C	T2 °C	T3 °C
235	235	198.0	160.0
240	235.3	198.50	161.0
245	235.2	198.0	160.0

Con los datos de la tabla N° 4.7, se construye la gráfica temperaturas Vs Distancia de separación entre termómetros, tal como lo muestra la figura N° 4.5

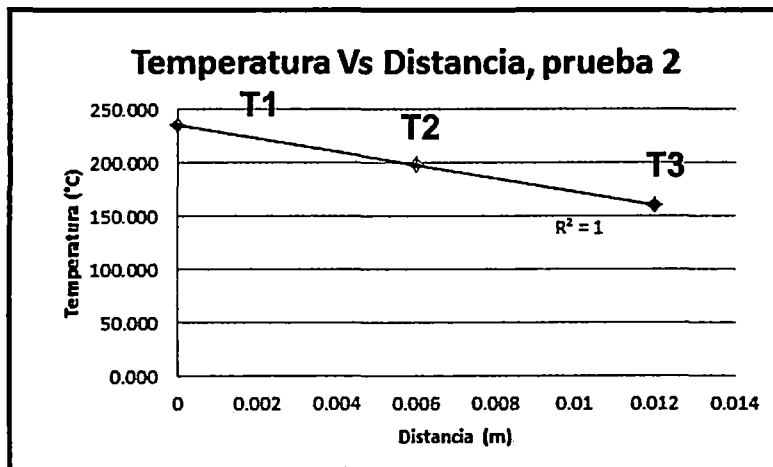


Figura N° 4.5. Temperatura Vs distancia, prueba 2

Como se observa en la figura N° 4.5, el valor de R^2 , es igual a 1, ya que la toma de temperaturas, fue cada 5 minutos, lo que indica que para la toma de temperaturas realizar cada 15 o 20 minutos, para que sea más representativo.

Diferencias de temperaturas.

El cuadro siguiente muestra las diferencias de temperaturas, a medida que pasa el tiempo, se va registrando las temperaturas cada 5 minutos.

Tabla N° 4.8. Diferencia de temperaturas para la prueba 2

Tiempo (minutos)	dT2-1	dT3-1
235	37.00	75.00
240	36.80	74.30
245	37.20	75.20

Calculo de la conductividad térmica de la placa muestra

Para un tiempo de 245 minutos y una diferencia de temperatura entre el termómetro 01 y la placa calefactora, reemplazando en la ecuación N° 3.1

$$k = \frac{V * I * x}{A * (T_1 - T_2)} = \frac{\left(\frac{125}{2}\right) * 0.84 * 0.006}{0.01988 * 37.2} = 0.43 \frac{W}{m - ^\circ C}$$

Para una diferencia de temperatura entre el termómetro 02 y la placa calefactora, reemplazando en la ecuación (3.3).

$$k = \frac{V * I * x}{A * (T_1 - T_2)} = \frac{62.5 * 0.84 * 0.012}{0.01988 * 75.2} = 0.42 \frac{W}{m - ^\circ C}$$

Conductividad térmica promedio para la segunda prueba

Para fines de cálculo, la conductividad térmica de la mezcla k_2 (mezcla arcilla/ Sílice), se procede a tomar el valor promedio.

$$k_2 = \frac{0.43 + 42}{2} = 0.425 \frac{W}{m - ^\circ C}$$

La conductividad térmica varía en función a la temperatura, la temperatura de cámara de combustión, supera los 500 °C, por consiguiente se toma el valor de conductividad térmica de la mezcla arcilla /sílice = **0.438 W/m -°C**.

Conductividad térmica de la mezcla arcilla /Sílice

$$K_{mezcl} = \frac{K_1 + K_2}{2} = \frac{0.438 + 0.425}{2} = 0.432 \frac{W}{m - ^\circ C}$$

Observando la tabla N° 2.5, y el resultado anterior se concluye que la conductividad térmica del material (mezcla Arcilla /Sílice), logro bajar de 1.279 W/m -°C (tabla N° 2.5) a 0.432 W/m -°C (tabla N° 2.9), este valor significando

que la mezcla Arcilla/Sílice, actuará como material aislante en parte, así reducir las pérdidas de calor por conducción en la cámara de combustión.

4.1.3. DISEÑO DE LA PARRILLA METALICA

Cálculo del ancho de la parrilla metálica:

Para el cálculo del ancho de la parrilla metálica, se consideró el teorema de Pitágoras en triángulos rectángulos (ver figura N° 4.6)

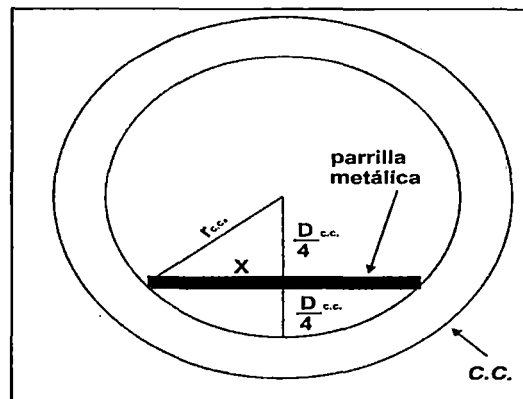


Figura N° 4.6. Diagrama para el cálculo del ancho de la parrilla metálica.

De la figura N° 4.6.

C.C. = Cámara de combustión

$D_{c.c.}$ = Diámetro de interior de la cámara de combustión = 15.30 cm (tabla N° 4.3)

X = Incógnita, para calcular (representa la mitad del ancho del parrilla metálica)

Considerando que, la altura de la parrilla metálica al piso de la cámara de combustión es la cuarta parte del diámetro de la cámara de combustión.

$$\frac{D_{c.c.}}{4} = \frac{15.30}{4} = 3.83 \text{ cm}$$

Calculando la incógnita, por teorema de Pitágoras, se tiene.

$$X^2 = \left(\frac{15.30}{2}\right)^2 - 3.83^2 = 6.192 \text{ cm}$$

Entonces, el ancho de la parrilla metálica es $2 * X = 13.25 \text{ cm}$

Considerando que la función de la parrilla metálica es de sostener al combustible y dotar de un flujo de aire constante para la combustión de la leña, se construyó de varilla de acero corrugada de construcción de 3/8" de grosor (10 mm de diámetro aproximadamente).

Como se parecía en la tabla N° 4.9, el ancho de la parrilla metálica, es el resultado del cálculo, pero para la longitud, lo determino la longitud interna de la cámara de combustión.

En la figura N° 4.7, se aprecia la parrilla metálica con la soldadura en las barras.

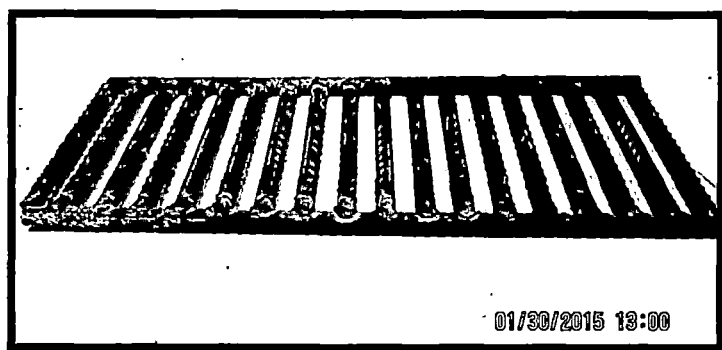


Figura N° 4.7: Parrilla metálica

Como el diámetro interno de la cámara de combustión se incrementó, entonces fue necesario realizar un recalcu del ancho de la parrilla metálica, en vista que se incrementó el diámetro interno de la cámara de combustión (15.30 cm), para el cálculo del ancho de la parrilla metálica, se realizó en forma similar que para la parrilla metálica que sirvió para evaluar las cámaras de combustión.

Para el soporte de la olla se construyó soportes de varillas de fierro liza. El diámetro de la varilla de fierro es de 1 cm (10 mm), que la altura de la varilla a la boca de la cámara de combustión es de 2.5 cm.

Tabla N° 4.9. Características de la parrilla metálica

DIMENSION	MEDIDAS
Ancho (cm)	13.25
Largo (cm)	30
Espaciado entre barras (cm)	1.00
Masa (kg)	1.440

4.2. DISEÑO Y MONTAJE DE LA COCINA MEJORADA PROPUESTA

Para el diseño y montaje de la cocina mejorada, se procedió a diseñar y construir las demás partes que conforman la cocina (cuerpo, carcasa metálica para la cámara de combustión, chaquetas metálicas, chimenea y capucha).

4.2.1. CUERPO DE LA COCINA MEJORADA

La figura N° 4.8, de muestra el, cuerpo de la cocina mejorada propuesta, la estructura es de tubo metálico cuadrada de 1 "x 1", este cuerpo está diseñado para que la cámara de combustión este sostenido a cierta altura del suelo (ver plano N° 02).

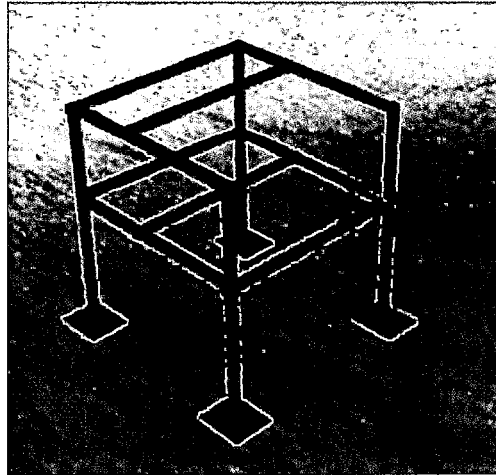


Figura N° 4.8. Cuerpo metálico de la cocina mejorada.

Las dimensiones del cuerpo de la cocina son:

- Longitud = 50 cm
- Ancho = 50 cm
- Altura total = 57 cm
- Altura de la cámara de combustión con respecto al piso = 27 cm.

4.2.2. CALCULO DEL ESPESOR DEL AISLANTE

Para fines de cálculo del espesor del aislante, se usó la ecuación N° 2.16, que describe para paredes compuestas.

De la ecuación N° 3.4, se tiene los siguientes datos.

$$T_i = 710 \text{ °C (Apéndice 3)}$$

$$T_2 = 480 \text{ °C (Apéndice 3)}$$

$$T_3 = ? \text{ (se obtiene por cálculos)}$$

$$T_{\text{ext}} = 60 \text{ (Gonzales, 2000)}$$

$$K_{\text{arcilla/silice}} = 0.432 \text{ W/m-K}$$

$$K_{\text{ladrillo aislante}} = 0.34 \text{ W/m-K (tabla N° 2.9)}$$

$$K_{\text{fibra cerámica}} = 0.158 \text{ W/m-K (Luyangwool, 2014)}$$

$$A = 0.057 \text{ m}^2 \text{ (área de transferencia de calor)}$$

$e_{c.c.} = 0.03 \text{ m}$ (tabla N° 4.3)

$e_{\text{ladrillo aislante}} = 0.02$ (ver página 52)

*El área de transferencia de calor se consideró un cuadrado de 27.5 cm x 21.5 cm, que viene a ser la longitud por el ancho de la cámara de combustión.

a) Calculo del calor perdido por la cámara de combustión:

Reemplazando en la ecuación N° 3.4, se tiene.

$$Q_{c.c.} = \frac{0.057 * m^2 * \frac{0.432W}{m - ^\circ C} * (710 - 480) * ^\circ C}{0.03 m} = 188.78 W$$

b) Calculo de la temperatura en el ladrillo aislante (T_3)

Como el calor es el mismo, en estado estacionario, entonces el calor que fluye por la cámara de combustión, es la misma para el ladrillo aislante y para la fibra cerámica, entonces despejando del ecuación N° 3.4 , T_3 y reemplazando en Se tiene.

$$T_3 = 480 - \left(\frac{188.78 * 0.02}{0.057 * 0.34} \right) = 285.17 ^\circ C$$

c) Calculo del espesor del aislante

Reemplazando en la ecuación N° 3.4, y despejando se tiene.

$$e_{\text{aisl}} = \frac{0.158 * 0.057 * (285.17 - 60)}{188.78} = 0.011 \text{ m} = 1.1 \text{ cm}$$

Entonces el espesor de la fibra cerámica es de 1 cm

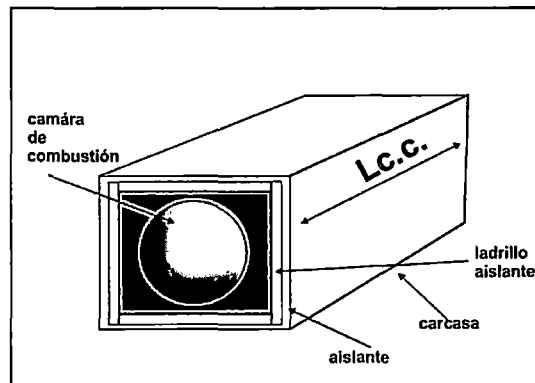


Figura N° 4.9. Configuración de la cámara de combustión, aislante y carcasa.

En la figura N° 4.9, se aprecia de cómo es la configuración de la cámara de combustión (color naranja), ladrillo aislante (color amarillo), fibra cerámica (blanco) y carcasa metálica (color blanco), cabe indicar que se está mostrando la mitad de la cámara de sistema.

4.3. MONTAJE DE LA CAMARA DE COMBUSTION EN LA CARCASA METALICA

Como la cámara de combustión es una sola pieza de mezcla de Arcilla/ Sílice, es preciso proteger, para ello se construyó una carcasa metálica con el fin de proteger la cámara de combustión. La carcasa metálica se diseñó con un espacio para el aislante de 3 cm, para luego proceder a aislar con fibra cerámica.

En el campo, es común usar ceniza cernida para aislar la cámara de combustión (en cocinas mejoradas), se deja un espacio de 10 cm alrededor de la cámara de combustión, para que cuando se coloque la cámara de combustión, se cree un espacio y es por ello que se verte la ceniza cernida, que luego se va compactando poco a poco, se usa ceniza cernida, ya que es un material barato y que se encuentra fácilmente.

La figura N° 4.10, muestra la instalación de la cámara de combustión, el aislante y la carcasa.

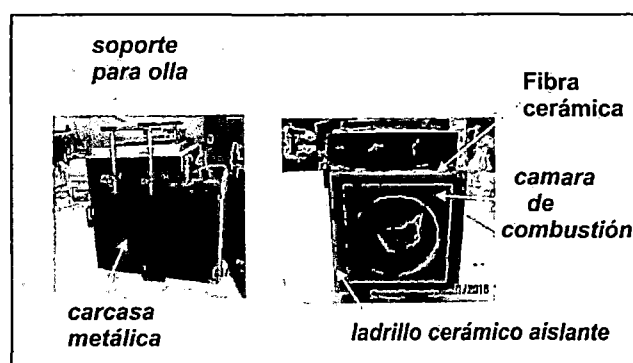


Figura N° 4.10. Cámara de combustión y componentes.

4.4. CONSTRUCCION DE DISCOS METALICO Y CERAMICO

A) DISCO METALICO

El disco metálico es un accesorio que permite que el fuego no se escape por debajo de las chaquetas, además sirve para poder empotrar con la chimenea (ver plano 03).

La figura N° 4.11, muestra como es empotrado el plato metálico a la cabecera del soporte metálico de la cocina.

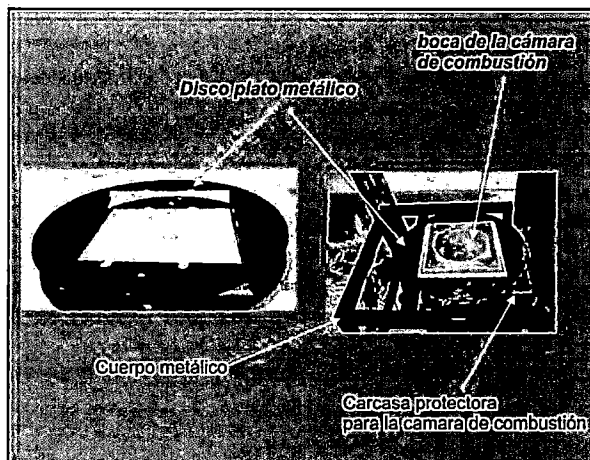


Figura N° 4.11 Disco metálico y boca de la cámara de combustión

B) DISCO CERÁMICO

Para la fabricación del disco cerámico, se usó el material de la cámara de combustión, consistente de una mezcla en masa de la arcilla de San Jerónimo y el mineral Sílice- Puno, se usó como molde el disco metálico.

El secado del disco cerámico, fue en él, ambiente del Laboratorio de Materiales y Cerámica de la UNSAAC, al aire libre, para el proceso de cocción, se realizó en el horno eléctrico a una temperatura de 1000 °C.

4.5. CONSTRUCCION DE CHAQUETAS MOVILES METALICAS

La altura de la chaqueta metálica se consideró de 18 cm, en vista que el espesor del disco cerámico es de 2 cm, más la altura de la olla con respecto a la boca de la cámara de combustión es de 3.5 cm, más el espesor del disco metálico 2mm más un factor de seguridad de 0.5 cm.

Para el estudio del GAP, se construyó 2 chaquetas móviles de plancha metálica rolada de 2 mm de espesor de hacer dulce. Para que las chaquetas móviles se pudiesen intercambiar y evaluar diferentes GAP (ver plano 03).

La figura N° 4.12, muestra la chaqueta móvil empotrada al disco metálico, que sobre ella va el disco cerámico, además se aprecia el codo metálico, que es un accesorio que sirve como unión entre las chaquetas móviles y la chimenea.

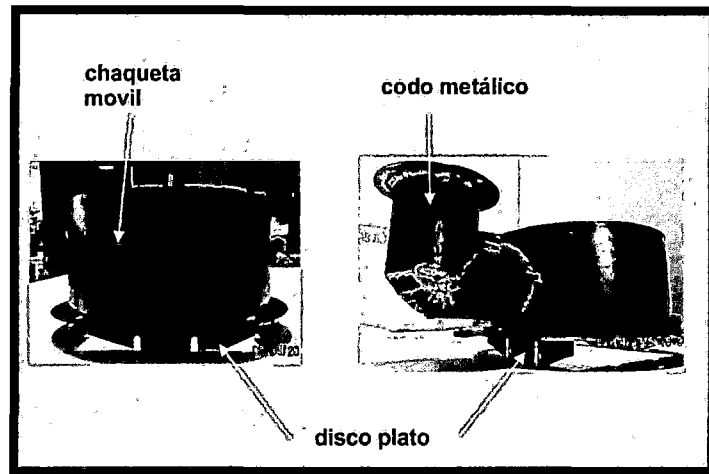


Figura N° 4.12. Chaquetas metálicas con diferente GAP

Las chaquetas metálica, fue necesario aislar por motivos de seguridad y para reducir las pérdidas de calor. El cálculo del espesor del aislante es con la ecuación N° 3.7.

$$r_{crit} = \frac{0.158 * \frac{W}{m - ^\circ K}}{5 * \frac{W}{m^2 - ^\circ K}} = 0.0316 m = 3 cm$$

El aislante se procedió a rellenar entre el espacio resultante entre la chaqueta interior y la chaqueta exterior, como se aprecia en la figura N° 4.13, lado derecho

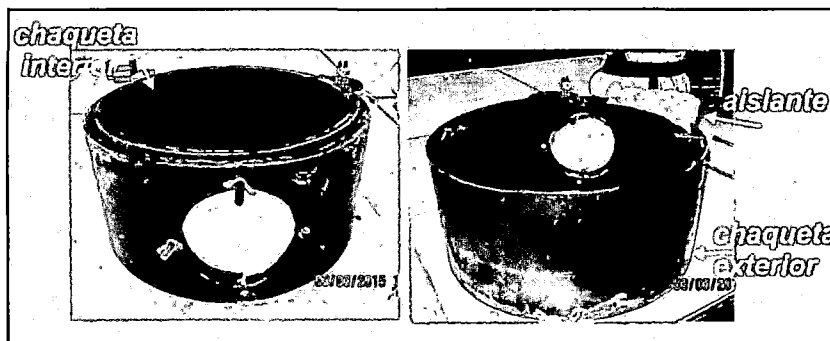


Figura N° 4.13. Chaqueta interior, exterior y aislante

4.6. CONSTRUCCION DE LA CHIMENEA

Para el, diseño de la chimenea, se evaluó la cámara de combustión (cámara de combustión con parrilla metálica), para lo cual se realizó la PEA en la primera fase, de esta evaluación, se calculó la velocidad de combustión, dando un valor de $V_{comb} = 32.067$ g/minutos.

- a) **Calculo de la transversal de la chimenea:** la cámara de combustión se realizó una prueba de PEA, donde se calculó la velocidad de combustión, arrojando 32.067 g/min, calculando la energía producida, se tiene.

$$\frac{32.067g}{min} * \frac{60min}{1h} * \frac{3668.58cal}{g} = \frac{7058.42 kcal}{h}$$

Para el cálculo del área de la chimenea, se reemplaza en la ecuación N° 2.5, se tiene:

$$\frac{7058.42 kcal}{h} * \frac{1}{100} = 70.58 \cong 71 cm^2$$

Se toma como diámetro interno de la chimenea de 12 cm

- b) **Altura de la chimenea:**

Para el cálculo de la altura de la chimenea, se usa la ecuación N° 2.7.

$T_{m\ chim} =$ Temperatura media en la chimenea = 281°C (Apéndice N° 3)

$h = 3399$ m (Apéndice N° 3)

$\Delta P = 0.02$ in H₂O (SCHUHMANN, 1952) = 0.0508 cm de columnas de H₂O

$V_g = 10.2$ m/s (Perry, 2001)

$\rho_{aire} = 0.84$ kg/m³ (Anexo 2)

$\rho_g = 0.396$ kg/m³ (ver página 97)

$e =$ Rugosidad = $4.6 * 10^{-5}$ m (MOTT, 1996)

- a) **Calculo de la viscosidad cinemática**

Reemplazando en la ecuación N° 2.10.

$$v_c = -6.361 * 10^{-6} + 4.426 * 10^{-8} * 554.15 + 7.523 * 10^{-11} * (554.15)^2$$

$$v_c = 4.13 * 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

- b) **Calculo del factor de fricción:**

Calculando en el número de Reynolds, usando la ecuación N° 2.9.

$$N_R = \frac{0.12 * 10.2}{4.13 * 10^{-5}} = 2.96 * 10^4$$

Rugosidad relativa

$$d_{chim}/\epsilon = \frac{0.12}{4.6 * 10^{-5}} = 2608.69$$

Interceptando el número de Reynolds, con la rugosidad relativa (Diagrama de Moody), donde $f = 0.0145$, reemplazando en la ecuación N° 2.8.

$$F = \frac{0.0145 * H_{chim} * (10.2)^2}{2 * 0.12 * 9.8} = 0.641 * H_{chim}$$

Reemplazando en la ecuación N° 2.7.

$$H_{chim} * \left(1 - \frac{0.84}{0.396}\right) + \frac{10 * 0.0508}{0.396} + 0.641 * H_{chim} = 0$$

$$H_{chim} = 2.67 \text{ m} \cong 2.5 \text{ m}$$

Sin capucha, es muy fácil de que la lluvia entre al interior de la cocina y deteriore la cocina, los vientos fuertes disminuyen la fuerza de succión de la chimenea y se obtiene que los gases resultante de la combustión de la leña, retornen a la habitación y se contamine de humo.

La figura N° 4.14, muestra la capucha protectora, con una parte de la chimenea metálica

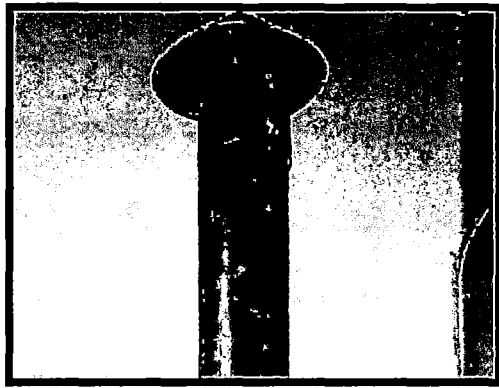


Figura N° 4.14. Capucha protectora

4.7. DETERMINACION DEL GAP ÓPTIMO PARA LA COCINA MEJORADA

A) Prueba con un GAP de 1.00 cm (10 mm)

Para evaluar el GAP a 1.00 cm, se realizó la PEA, en 03 fases, como se describió anteriormente.

Los datos necesarios para calcular los valores de las variables dependientes como velocidad de combustión, consumo específico de combustible, la potencia promedio y la eficiencia térmica, se resumen en la Tabla N° 4.10.

Tabla N° 4.10. Datos originados para la evaluación del GAP = 1 cm

DATOS	PROMEDIO DE LAS FASES		
	1°	2°	3°
Astillas (kg)	0.09	0.00	0.00
Leña inicio (kg)	2.78	2.11	1.45
Leña final (kg)	2.11	1.45	0.71
Leña consumida, f_m (kg)	0.76	0.66	0.74
$m_{\text{agua } i}$ (kg)	5.00	5.00	4.82
$m_{\text{agua } f}$ (kg)	4.83	4.82	4.60
m_{vapor} (kg)	0.17	0.18	0.22
ΔC (kg)	0.05	0.07	0.04
T_i (°C)	17.67	17.33	85.0
T_{eb} (°C)	89.10	89.10	86.0
t_{eb} (minutos)	18.67	18.00	45.0

La masa de las astillas es solo para encender la cocina mejorada, es por ello que solo aparece la masa de las astillas en la 1° fase, en las demás fase no es necesario contar con astillas, ya que la cocina mejorada y la leña están calientes (no se apaga la leña que se saca de la cámara de combustión), y es por ello hay que pesar lo más rápido posible el agua para que no se apague la leña.

CALCULOS:

Se realizan los cálculos por motivo de explicación de los valores que figuran en la tabla N°4.10 Los cálculos se realizan para la 1° fase.

A) Velocidad de combustión:

Para el cálculo de la velocidad de combustión, es preciso contar como dato la cantidad de leña convertida a energía.

Leña convertida en energía, fd

Reemplazando datos en la ecuación (2.20), se tiene.

$$fd = 0.76 * (1 - 1.12 * 0.1180) - 1.5 * 0.050 = 0.60 \text{ kg}$$

Con el dato hallado de la cantidad de leña convertida en energía, se procede a reemplazar en la ecuación (2.21) lo cual se tiene.

$$V_{comb} = \frac{fd}{t_{eb}} = \frac{0.60 * 1000}{18.67} = 32.14 \frac{g}{minutos}$$

La velocidad de combustión de la leña, es a razón de 32.14 g/ min, en la 1° fase de la PEA. Cabe indicar que el tiempo que dura la fase, es el tiempo que demorar el hervir 5 litros de agua.

B) Consumo específico de combustible

Calculado la cantidad de leña convertida en energía, y teniendo la masa de agua remanente que queda en la olla ($m_{agua f}$), se procede a calcular el consumo específico de combustible, usando la ecuación (2.22).

$$CE = \frac{fd}{m_{agua f}} = \frac{0.60 * 1000}{4.83} = 124.22 \frac{g}{L}$$

Para seguir llevando a ebullición un litro de agua remanente que sobra en la olla, se necesita 124.22 gramos de leña.

C) Potencia promedio

De la tabla N° 3.1, se tiene como dato la masa de agua final, con ese dato se procede a calcular la masa de vapor creado en la fase.

Masa de agua al inicio de la prueba = 5.00 kg

Masa al final de la prueba = 4.68 kg

$$Masa\ de\ vapor\ producido\ en\ la\ fase = 5 - 4.68 = 0.32\ kg$$

Reemplazando en la ecuación (2.24), se tiene:

$$P = \frac{m_{agua f} * Cp_{agua}(T_{eb} - T_i) + m_{vapor} * \lambda}{t_{eb} * 60}$$

$$P = \frac{4.83 * 4.184 * (89.10 - 17.65) + 0.17 * 2285.41}{18.67 * 60} = 1.64\ kW$$

El agua de la olla está ganando energía de 1.64 kW, en el tiempo que dura la ebullición.

D) Eficiencia térmica

Reemplazando en la ecuación (2.23), se tiene:

$$\eta = \left(\frac{4.83 \cdot 4.184 \cdot (89.10 - 17.65) + 0.17 \cdot 2285.41}{0.60 \cdot 15359.61} \right) * 100\% = 19.88 \%$$

Para el caso de la eficiencia térmica, 19.88 %, es la cantidad de energía ganada, con respecto a la energía entregada por el combustible.

Tabla N° 4.11. Variables calculadas de la PEA, para GAP = 1 cm.

VARIABLES CALCULADAS	PROMEDIO DE LAS FASES		
	1°	2°	3°
f_d (kg)	0.60	0.47	0.58
V_{comb} (g/minuto)	32.14	26.11
CE (g/L)	125.26	97.51	126.10
P (kW)	1.64	1.72
$\eta\%$	19.88	25.74

Un aspecto importante en la realización de las pruebas aparte de la medición de la temperatura del agua, fue la medición de temperaturas en el interior de la cocina mejorada, como la temperatura en el interior de la cámara de combustión ($T_{c.c.}$), en la base de la olla (T_{olla}), en el centro de GAP (T_{mGAP}), la temperatura media en la chimenea (T_{chim}), con la finalidad de cuantificar dichas temperaturas, ya que en la bibliografía no se encuentra dicha información, las temperaturas se midieron cada 2 minutos, luego se obtuvo promedios (1° y 2° fase), las cuales se muestran en el Apéndice 3. Que son:

$$T_{c.c.} = 710 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{olla} = 435.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{mGAP} = 320 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{chim} = 281.50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La temperatura de la cámara de combustión, es adecuada para llevar a cabo la combustión, ya que permite que la leña queme más rápido y por consiguiente la masa de carbón, es menor. La temperatura en la base de la olla, es otro aspecto importante, ya que la cámara de combustión, se diseñó con las recomendaciones indicadas por Baldwin (1987) y Álvarez (2009), donde la distancia entre lecho del combustible a la base de la olla está en equilibrio entre la energía transmitida por radiación y la calidad de combustión. El uso de chaqueta con GAP, es para optimizar la cocina mejorada, ya que los gases

calientes antes de ser evacuados por la chimenea, son forzados a pasar por las áreas laterales de la olla, al temperatura medida fue de 320 °C.

La curva de ebullición del agua para un GAP de 1 cm se muestra en la figura N° 4.16.

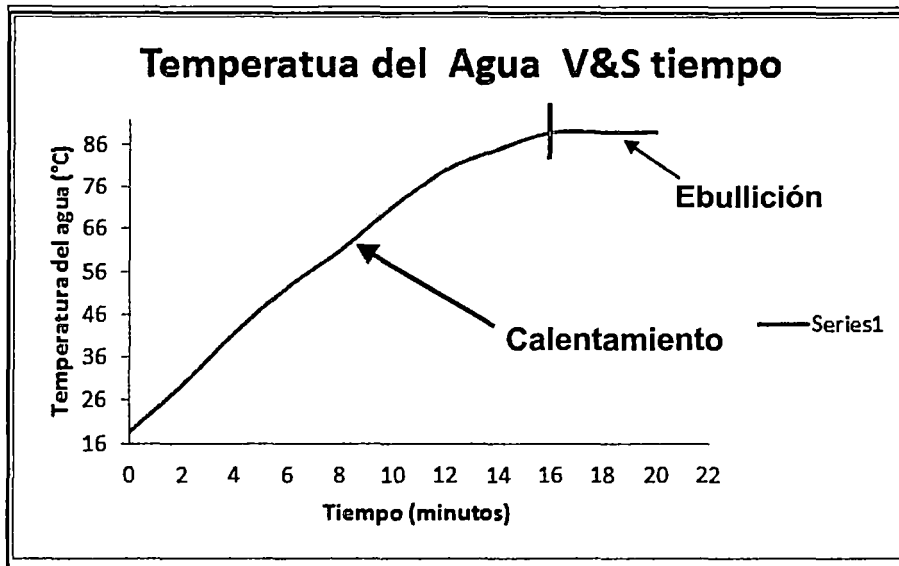


Figura N° 4.15. Curva de calentamiento y ebullición del agua en la olla.

Como se aprecia en la figura N° 4.15, a medida que pasa el tiempo, la temperatura del agua se va elevando, hasta llegar a su punto de ebullición local, luego se aprecia un recta aproximadamente en la ebullición, ya que la temperatura de ebullición del agua en el Cusco es de 89.10°C, por lo que se mantuvo 4 minutos más cuando llego a su punto de ebullición.

B) Prueba de con GAP de 1.50 cm (15mm)

Para la prueba con el GAP de 1.5cm, se procedió a desmontado de la anterior chaqueta con GAP de 1 cm, para luego colocar la otra chaqueta con GAP de 1.5 cm.

Las pruebas para un GAP de 1.5 cm, se realizaron por duplicado, siendo de dichas pruebas se generaron datos, los cuales se detallan en la tabla N° 4.12

Tabla N° 4.12. Datos originados para la evaluación del GAP = 1.5 cm

DATOS	PROMEDIO DE LAS FASES		
	1°	2°	3°
Astillas (kg)	0.12	0.00	0.00
Leña inicio (kg)	2.22	1.77	1.08
Leña final (kg)	1.77	1.080	0.55
Leña consumida, f_m (kg)	0.79	0.69	0.53
Leña convertida en energía, f_d (kg)	0.62	0.52	0.39
$m_{\text{agua i}}$ (kg)	5.00	5.00	4.82
$m_{\text{agua f}}$ (kg)	4.82	4.82	4.60
m_{vapor} (kg)	0.18	0.18	0.20
ΔC (kg)	0.05	0.05	0.05
T_i (°C)	18.63	18.63	85
T_{eb} (°C)	89.10	89.33	86
t_{eb} . (minutos)	21.67	22.23	45

Como se comentó anteriormente la masa de las astillas es solo para encender la cocina mejorada, la leña no se apagó lo que se sacó de la cámara de combustión, esto para mantenerlo encendido y seguir con la 2° fase.

Con los datos de la tabla N° 4.12, se procedió a calcular las demás variables los cuales se detallan en la tabla N° 4.13

Tabla N° 4.13. Variables calculadas de la PEA, para GAP= 1.5 cm.

VARIABLES CALCULADAS	PROMEDIO DE LAS FASES		
	1°	2°	3°
f_d (kg)	0.61	0.52	0.39
V_{comb} (g/minuto)	28.18	23.45	
CE (g/L)	126.55	107.88	84.31
P (kW)	1.40	1.40
$\eta\%$	19.34	22.81

Observando las tablas N° 4.12 y N° 4.13, se aprecia que para GAP = 1cm, la velocidad de combustión, la potencia promedio y la eficiencia es mayor con respecto al GAP= 1.5 cm, pero no sucede con el consumo específico de combustible (CE), que el GAP de 1cm, arroja 154.67 g/L, que el GAP de 1.5cm, arroja 100.00 g/L, siendo una diferencia de 54.67 g/L, lo que indica que el GAP de 1 cm, necesita más leña para seguir llevando a ebullición la masa de agua remanente de la olla.

La cocina mejorada propuesta tiene una eficiencia térmica de 19.88 % (1° fase) y 25.74 % (2° fase)

En tanto para Álvarez, H., 2009, la eficiencia térmica de su cocina mejorada fue de 30%, esto para un GAP de 1 cm.

Por otra parte Torres, 2010, determino la eficiencia de la cocina mejorada con horno, por un método similar al de la PEA, obteniendo en su primer experimento (considero al agua sin cambio de fase), una eficiencia de 47.3%, y para el segundo experimento (considerando un cambio de fase), una eficiencia de 50.3%, siendo la eficiencia térmica promedio de 48.8 %.

Para Assureira, E. y Assueria, M., 2007, la eficiencia térmica de la cocina doña Olga, por la PEA, fue de 36%, para GAP menores a 15 mm (1.5 cm).

Como se observa la eficiencia térmica de la cocina es baja en comparación de las demás cocinas mejoradas, esto debido a las condiciones climatológicas de la ciudad del Cusco, por el simple hecho que un dispositivo, equipo u maquina térmica que funcione en más altura del nivel del mar, necesitara más suministro de aire

Por consiguiente, se concluye que para la construcción de cocinas mejoradas, el GAP adecuado es de 10 mm (1 cm).

4.8. BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA EN LA COCINA MEJORADA

El balance de masa y energía es para calcular la eficiencia térmica, las pérdidas de calor en el cuerpo de la cocina mejorada, chimenea, asumiendo que la combustión es completa, donde todo el carbono presente en la leña se transforma en CO_2 , no hay material particulado, no hay formación de hollines.

Base de cálculo = tiempo de ebullición del agua t_{eb} = 18.335 minutos.

4.8.1. BALANCE DE MATERIA PARA EL FENOMENO DE LA COMBUSTION

Para realizar el balance de masa y energía, se usó los promedios de las 2 fases del Apéndice 2, para un GAP de 1 cm, siendo este GAP el que arrojó el índice más alto de eficiencia térmica y potencia promedio, dichos promedios se detalla en la tabla N° 4.14.

Tabla N° 4.14. Promedio de las pruebas para GAP= 1 cm

DATOS	PROMEDIO
Astillas (kg)	0.09
Leña inicio (kg)	2.445
Leña final (kg)	1.78
Leña consumida, f_m (kg)	0.71
$m_{\text{agua i}}$ (kg)	5.00
$m_{\text{agua f}}$ (kg)	4.825
m_{vapor} (kg)	0.175
ΔC (kg)	0.06
T_i (°C)	17.50
T_{eb} (°C)	89.10
t_{eb} (minutos)	18.335

De la tabla N° 4.14, se procedió a calcular la masa de la leña consumida en la fase, realizando en los componentes de la leña, siendo la leña consumida $f_m = 0.71$ kg, en tanto la humedad de la leña es 11.78% (Anexo N° 1). Recalculando la masa de la leña consumida por el agua contenida en la leña, se tiene.

$$f_m = 0.71 - \frac{11.78 * 0.71}{100} = 0.626 \text{ kg}$$

Con este valor de **0.626 kg**, se procede a calcular la masa de los componentes de la leña, realizando un reajuste en la masa de hidrogeno (se divide entre 2), para hacer del hidrogeno diatómico, donde en la tabla 4.15, se detallan dichos resultados.

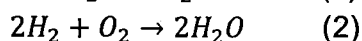
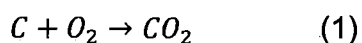
Tabla N° 4.15. Masa de los componente de la leña

Masa	% EN PESO*	kg
Carbono fijo	38.98	0.244
Hidrogeno	3.49	0.022
Nitrógeno	0.09	0.001
Azufre	0.05	0.0001
Oxigeno	56.90	0.356
Cenizas	0.49	0.003

*Álvarez Harold, 2009.

Con la tabla N° 4.15, se procede a realizar el balance de materiales, tal como el aire teórico necesario para la combustión, cálculo de la humedad que ingresa con el aire, cálculo de los gases calientes que salen de la cámara de combustión. Cabe indicar que de la tabla N° 4.15, se desprecia la masa de nitrógeno y azufre en vista que son masas pequeñas.

La demanda de oxígeno teórico requerido, es la que necesita el combustible para reaccionar y formar el dióxido de carbono y vapor de agua, asumiendo que la combustión es completa. A continuación se muestran las reacciones estequiométricas, y estas son:



a) Oxígeno requerido para la combustión de la leña

El oxígeno necesario para que ocurran las reacciones es:

$$(1): 0.244 \text{ kg C} \cdot \frac{32 \text{ kg } O_2}{12 \text{ kg C}} = 0.651 \text{ kg } O_2$$

$$(2): 0.022 \text{ kg } H_2 * \frac{32 \text{ kg } O_2}{4 \text{ kg } H_2} = 0.176 \text{ kg } O_2$$

Sub total de O₂ = 0.827 kg O₂

Oxígeno presente en la leña (tabla N° 4.15), es.

0.356 kg O₂

Oxígeno requerido

$$(0.827 - 0.356) = 0.471 \text{ kg } O_2$$

b) Aire

Aire teórico:

El aire teórico viene a ser la cantidad de aire resultante del balance estequiométrico.

Tabla N° 4.16. Composición del aire

Composición del aire	% peso	% volumen= % moles
Nitrógeno (N ₂)	76	79
Oxígeno (O ₂)	24	21

Exceso de aire:

Se asume un exceso de oxígeno de **140%** en peso y con los datos de la tabla N° 4.16, se calculan el oxígeno real.

$$O_2 \text{ real} = \frac{240}{100} * 0.471 = 1.13 \text{ kg } O_2$$

$$O_2 \text{ exceso} = 1.13 - 0.471 = 0.66 \text{ kg } O_2 = 58 \% \text{ de exceso}$$

$$\text{Aire real} = 1.13 * \left(\frac{1}{0.24}\right) = 4.71 \text{ kg}$$

$$N_2 \text{ real} = 4.71 * \left(\frac{76}{100}\right) = 3.58 \text{ kg } N_2$$

c) Agua en el aire:

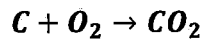
Del Anexo N° 2, se tiene que la presión de vapor del agua a 17 °C, con 60%, es 9 mm Hg

La masa de agua en forma de vapor que entra es:

$$\frac{9 \text{ mm Hg} * 4.71 \text{ kg aire}}{512 \text{ mm Hg}} = 0.083 \text{ kg de agua}$$

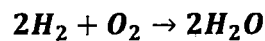
d) Gases que salen por la chimenea

Para el CO₂



$$0.244 \text{ kg C} \frac{44 \text{ kg } CO_2}{12 \text{ kg C}} = 0.895 \text{ kg } CO_2$$

Para el agua



$$0.022 \text{ kg } H_2 * \frac{2 * 18 \text{ kg } H_2O}{4 \text{ kg } H_2} = 0.198 \text{ kg } H_2O$$

$$\text{humedad de la leña: } 11.80 \% = 0.118 * 0.71 = 0.084 \text{ kg}$$

Agua total en los gases que salen por la chimenea:

$$H_2O: 0.198 + 0.084 + 0.083 = 0.365 \text{ kg } H_2O$$

Tabla N° 4.17. Resumen del balance de materia para la leña

Entrada (kg)		Salida (kg)	
		kg	% (chimenea)
Leña	C = 0.244	CO ₂ = 0.895	16.27
	H = 0.022	H ₂ O = 0.365	6.63
	H ₂ O = 0.084		
	O ₂ = 0.356		
	Cenizas = 0.003	Cenizas = 0.003	
Aire	O ₂ = 1.13	O ₂ = 0.66	12.00
	N ₂ = 3.58		
	H ₂ O = 0.083	N ₂ = 3.58	65.10
Total	5.50	5.50	100

e) Cálculo del peso molecular de los gases de combustión

Usando la ecuación N° 3.11, se tiene:

$$P_{Mg} = \frac{16.27 * (0.044)}{100} + \frac{6.63 * (0.018)}{100} + \frac{12 * (0.032)}{100} + \frac{65.10 * (0.028)}{100} = 0.0304 \text{ kg/mol}$$

f) Cálculo de la densidad media de los gases de combustión

Hallando la constante de elasticidad de los humos, ecuación N° 3.10:

$$R_0 = \frac{8.314472 * J * mol}{0.0304 * mol - K * kg} = 273.502 \frac{J}{kg - K}$$

Calculando la densidad de los gases de combustión, ecuación N° 3.9

$$\rho_g = \frac{101325 * (1 - 0.00012 * 3399)}{554.15 * 273.502} = 0.396 \text{ kg/m}^3$$

En la figura N° 4.16, se detallan dichos resultados para el balance de masa.

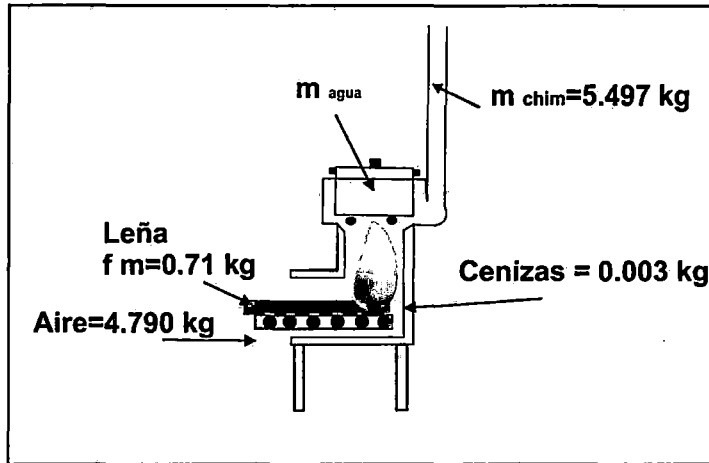


Figura N° 4.16. Diagrama cuantitativo del balance de masa

Como se observa en la figura N° 4.16, la masa de la cenizas calculadas es de 0.003 kg (3 g), como es de esperar esta cantidad es muy pequeña, ya que no se consideró la masa de los hollines formados (en la base de la olla, en el interior de las chaquetas metálicas, chimenea), además de que la leña consumida es de 0.71 kg, que es una cantidad pequeña ya que las pruebas de la PEA, el tiempo de ebullición del agua arrojó 18.335 minutos.

4.8.2. BALANCE DE ENERGIA EN LA COCINA MEJORADA

El balance de energía se realizó con el valor promedio de las 2 primeras fases de la PEA (tabla N° 4.14), considerando que la base de cálculo es de 18.335 minutos.

A) CALCULO DE LA ENERGIA PRODUCIDA POR LA COMBUSTION DE LA LEÑA, $Q_{leña}$

Datos.

f_m = Masa de la leña húmeda, kg

PCI = 15359.17 KJ/kg

t_{eb} = 18.335 minutos = 1100.1 s

Reemplazando en la ecuación N° 3.13, se tiene.

$$Q_{leña} = \frac{0.71 * 15359.61}{1100.1} = 9.913 \text{ kW}$$

B) CALCULO DE LA ENERGIA PERDIDA POR LA HUMEDAD DE LA LEÑA, Q_{hum} :

Datos.

PCS= poder calorifico superior 17066 kJ/kg (tabla N° 2.5)

Reemplazando en la ecuación N° 3.14, se tiene.

$$Q_{hum} = \frac{1.12 * 0.71 * 0.118 * 17066}{1100.1} = 1.46 \text{ kW}$$

C) CALCULO DE LA ENERGIA GANADA EN LA OLLA, Q_{olla}

Datos.

$m_{olla} = 0.82 \text{ kg}$

$C_{p\ olla} = 1094.303 \text{ J/kg-}^\circ\text{C}$ (Incropera 2009, tabla A.1)

$T_{olla} = 435.5 \text{ }^\circ\text{C}$ (Apéndice 3)

$T_{amb} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ (valor promedio de las pruebas)

$t_{eb} = 18.355 \text{ minutos} = 1100.1 \text{ s}$

Reemplazando en la ecuación N° 3.15, se tiene.

$$Q_{olla} = \frac{0.82 * 1094.303(435.5 - 18)}{1100.1} = 340.55 \frac{J}{s} = 0.341 \text{ kW}$$

D) CALCULO DE LA ENERGIA GANADA POR EL AGUA EN LA OLLA, Q_n

Datos:

$m_{agua\ f} = 4.825, \text{ kg}$ (tabla N° 4.10)

$m_{vapor} = 0.175 \text{ kg}$ (tabla N° 4.10)

$T_{eb} = 89.10 \text{ }^\circ\text{C}$ (tabla N° 4.10)

$T_{am} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ (valor promedio de las pruebas)

$\lambda = 2285.41 \text{ kJ/ kg}$ (Incropera, tabla A-6)

$C_{p\ agua} = 4.184 \text{ kJ/kg-K}$ ((Incropera, tabla A-6).

Reemplazando en la ecuación 3.16, se tiene.

$$Q_{agua} = \frac{4.825 * 4.184 * (89.10 - 18) + 0.175 * 2285.41}{1100.1} = 1.67 \text{ kW}$$

E) CALCULO DE LA ENERGIA PERDIDA EN LOS RESIDUOS DEL CARBON, Q_{carbon}

Dato.

$$\Delta C = 0.06 \text{ kg (tabla N}^\circ \text{ 4.14)}$$

Reemplazando en la ecuación N° 3.17, se tiene

$$Q_{carbon} = \frac{0.06 * 1.5 * 15359.61}{1100.1} = 1.26 \text{ kW}$$

F) CALCULO DE LA ENERGIA PERDIDA EN LA PARRILLA METALICA, Q_p

Datos.

m_p = Masa de la parrilla metálica = 1.44 Kg.

$T_{c.c.}$ = 710 °C (Apéndice 3)

T_{amb} = 18 °C (valor promedio de las pruebas)

C_{p_p} = Capacidad calorífica del acero de construcción = 1169 J/kg-K (Incropera, 2009, Tabla A-1)

Reemplazando en la ecuación N° 3.18, se tiene.

$$Q_p = \frac{1.440 * 1169 * (710 - 18)}{1100.1} = 1.059 \text{ kW}$$

G) CALCULO DE LA ENERGIA PERDIDA EN LOS GASES QUE SALEN POR LA CHIMENEA, Q_{chim}

La temperatura promedio de los gases de combustión en la chimenea es de 281 °C (Apéndice 3).

$$T_{prom} = 281 + 273.15 = 554.15 \text{ K}$$

Datos.

$C_{p_{CO_2}}$ = 1.052 kJ/kg-K (Incropera F., Tabla A.4)

$C_{p_{N_2}}$ = 1.066 kJ/kg-K (Incropera F., Tabla A.4)

$C_{p_{H_2O}}$ = 2.00 kJ/kg-K (Incropera F., Tabla A.4)

$C_{p_{O_2}}$ = 0.989 kJ/kg-K (Incropera F., Tabla A.4)

$$CO_2 = 0.895 \text{ kg } CO_2 * 1.052 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } CO_2 - K} (554.15) * K = 521.75 \text{ kJ}$$

$$N_2 = 3.58 \text{ kg } N_2 * 1.066 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } N_2 - K} (554.15) * K = 2114.79 \text{ kJ}$$

$$H_2O = 0.365 \text{ kg } H_2O * 2.00 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } H_2O - K} (554.15) * K = 404.53 \text{ kJ}$$

$$O_2 = 0.66 \text{ kg } H_2O * 0.989 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } H_2O - K} (554.15) * K = 361.72 \text{ kJ}$$

Sumando todos los componentes, se tiene.

$$Q_{chim} = 521.75 + 2144.79 + 404.53 + 361.72 = 3432.79 \text{ kJ}$$

Para un tiempo de 1100.1 s, se tiene:

$$Q_{chim} = \frac{3432.79 \text{ kJ}}{1100.1 \text{ s}} = 3.12 \text{ kW}$$

H) CALCULO DE LA ENERGIA PERDIDA POR EL CUERPO DE LA COCINA, Q_{pc}

El calor perdido de por cuerpo de la cocina mejorada, son las pérdidas en el sistema cámara de combustión aislante y carcasa metálica, chaquetas metálicas, codo metálico y perdidas por convección natural en la puerta de la cámara de combustión.

Reemplazando datos en la ecuación N° 3.12, se tiene.

$$9.913 = 1.46 + 0.341 + 1.67 + 1.26 + 1.059 + 3.12 + Q_{pc}$$

$$Q_{pc} = 1.003 \text{ kW}$$

4.9. BALANCE DE ENERGIA DE GANANCIAS Y PERIDAS

A) ENERGIA QUE REALMENTE PROPORCIONA EL COMBUSTIBLE DURANTE LA COMBUSTION

La energía que realmente proporciona el combustible, es el calor útil generado por la combustión de la leña y viene dada por.

$$Q_{util} = Q_{leña} - (Q_{hum} + Q_{carbon}) = 9.913 - (1.46 + 1.26) = 7.193 \text{ kW}$$

B) ENERGIA APROVECHADO POR LA OLLA Y EL AGUA

La energía aprovecha por la olla y el agua es.

$$Q_{olla} + Q_{agua} = 0.341 + 1.67 = 2.011 \text{ kW}$$

Tabla N° 4.18. Balance de energía en la cocina mejorada

Balance de energía	Energía (kW)	%
Q entregado por el combustible	7.193	100
Q aprovechado por la olla y el agua	2.011	27.96
Q perdido en la chimenea	3.12	43.38
Q perdido en el cuerpo de la cocina	1.003	13.94
Q perdido en la parrilla metálica	1.059	14.72

Tal como se aprecia en la tabla N° 4.18, las pérdidas de calor por la chimenea representan el 43.38 % del calor suministrado por la leña, esto porque la cocina mejorada posee una sola olla, y otro factor de que la residencia de calor sea corto, es el tiro de la chimenea, en vista que la altura de la chimenea es de 2.50 m, esta ejerce un efecto de succión de los gases calientes hacia la chimenea y esta energía se desperdicia al medio ambiente, además que se está considerando exceso de aire.

Para Baldwin, 1987, las pérdidas de calor por la chimenea, representan el 22.2 % y por el cuerpo representan el 40.4% (para una cocina mejorada con dos ollas y cuerpo de metal y aislado).

Por otra parte para Álvarez, 2009, sostiene que las pérdidas de calor por el cuerpo de la cocina mejorada representan el 40.1 %, y por la chimenea representan el 30.3 %, comparando la cocina mejorada propuesta con las investigaciones descritas anteriormente, la cocina mejorada tiene pérdidas de calor por la chimenea de 43.38 % (tabla N° 4.18), que es alto en comparación con las demás y por el cuerpo del 14% (tabla N° 4.18), que es un valor más bajo de las demás, ya que la cámara de combustión se aisló con ladrillo cerámico aislante y fibra cerámica aislante, para minimizar las pérdidas de calor por el cuerpo de la cocina mejorada.

Para usar mejor la energía desperdiciada por la chimenea, es conveniente instalar una segunda olla de aluminio de N° 26, en forma horizontal a la primera olla, con una distancia de separación entre ollas de 6 cm (largo aproximado de las asas), para que esta aproveche de mejor manera esa energía que se desperdicia al medio ambiente.

El calor aprovechado por la olla y el agua, representa el 27.46%, que sería una eficiencia térmica teórica (se asume que una combustión completa), por otra parte en la tabla N° 4.11, para un GAP de 1.0 cm, la eficiencia térmica que arroja la PEA, es de 25.74 % (valor promedio de la 1° y 2° fase). Esta variación de la eficiencia térmica es porque la combustión de la leña en las cocinas

mejoradas no es completa ni uniforme en el tiempo, hay formación de CO, hollines y material particulado, por ende se toma el valor de la eficiencia térmica de 25.74%.

4.10. EFICIENCIA DE LA COMBUSTION

Se define como la relación de calor entregado al equipo entre el calor que se produciría el combustible en su combustión completa, es un indicador de la eficiencia de la cámara de combustión.

$$\eta_{comb} = \frac{Q_{leña} - Q_{carbon}}{Q_{leña}} * 100\% \quad (4.1)$$

Reemplazando en la ecuación N° 4.1, se tiene.

$$\eta_{comb} = \frac{9.913 - 1.26}{9.913} * 100\% = 87.29\%$$

Según Álvarez, H, 2009, la eficiencia de la combustión para la cocina mejorada, es 82 %, en tanto para Assureira E., y Assureira M., 2007, eficiencia de la combustión para la cocina mejorada doña Olga es de 95%, que dichos trabajos de investigación se realizaron en la ciudad de Lima.

La eficiencia de la combustión para la cocina mejorada propuesta es de 87.29%, que está entre los valores que determinan Álvarez, 2009 y Assureira E., y Assureira M., 2007, esto indica que la combustión se lleva eficientemente.

4.11. EVALUACION DE UNA COCINA TRADICIONAL (FOGON), EN LA PROVINCIA DE URUBAMBA

Se evaluó un fogón (Q'oncha) tradicional de uso doméstico, de la ciudad de Urubamba. La evaluación del fogón tradicional consistió en la metodología realizada para evaluar la cocina mejorada con diferentes GAPs. En un inicio se propuso realizar la PEA en sus 3 fases, pero se tuvo un inconveniente de que fue difícil regular el flujo de calor, ya la tercera fase consiste en mantener el agua 3 °C por debajo de su punto de ebullición.

RESULTADOS

El procesamiento de los datos tomados en el formulario de la PEA, se realiza en forma similar que las anteriores. Para los cálculos de las variables, se usó las ecuaciones anteriores descritas.

La evaluación del fogón tradicional en la provincia de Urubamba, se realizó por duplicado, de estos datos se procedió a promediar, los cuales muestra la tabla N° 4.19, donde se detallan las variables calculadas.

Tabla N° 4.19. Datos originados para la evaluación de la cocina tradicional

DATOS	PROMEDIO DE LAS FASES	
	1°	2°
Astillas (kg)	0.20	0.00
Leña inicio (kg)	4.190	2.28
Leña final (kg)	2.280	0.490
Leña consumida, f_m (kg)	2.11	1.79
Leña convertida en energía, f_a (kg)	0.95	0.82
$m_{\text{agua i}}$ (kg)	5.00	5.00
$m_{\text{agua f}}$ (kg)	4.87	4.88
m_{vapor} (kg)	0.13	0.12
ΔC (kg)	0.590	0.490
T_i (°C)	20.0	20.0
T_{eb} (°C)	94.0	94.0
$t_{\text{eb.}}$ (minutos)	44.0	32.0

Con los datos proporcionados de la tabla N° 4.19, se prosigue a calcular las demás variables que se detallan en la tabla N° 4.20.

Tabla N° 4.20: Variables calculadas para la cocina tradicional.

VARIABLES CALCULADAS	1° fase	2° fase
	Promedio	Promedio
V_{comb} (g/minuto)	21.59	18.60
CE (g/L)	194.47	167.85
P (kW)	0.69	0.93
$\eta\%$	12.49	14.27

La eficiencia del fogón tradicional es de 13.38 % (promedio de las 2 fases).

4.12. COMPARACION DE LA COCINA MEJORADA CON LA COCINA TRADICIONAL

4.12.1. CUERPO DE LA COCINA

El cuerpo de la cocina mejorada propuesta es de material metálico, para trasladarlo de un lugar otro, pero es posible construirlo la cocina mejorada con cuerpo de ladrillo o adobe.

Establecido las dimensiones interiores de la cocina mejora como la cámara de combustión, altura de la olla con respecto a la boca de la cámara de combustión, GAP, es factible construir el cuerpo de la cocina mejorada con cualquier material metálico o no metálico, ya que el cuerpo de la cocina mejorada es un contendedor para que las demás partes se instalen y se empotren, como el caso de la chimenea como es una solo pieza. En esta investigación tanto la chimenea como el codo metálico poseen bridas, cuya finalidad asegurar las dos piezas con tornillos y tuercas, además que las chaquetas son intercambiables. Cuando se construye una cocina con cuerpo de adobe, ladrillo, el codo metálico desaparece y en vez de ello se realiza túneles en el cuerpo de la cocina mejorada, conservando en mismo diámetro que la chimenea.

La figura N° 4.17, muestra el recorrido de los gases calientes en el interior de la cocina mejorada.

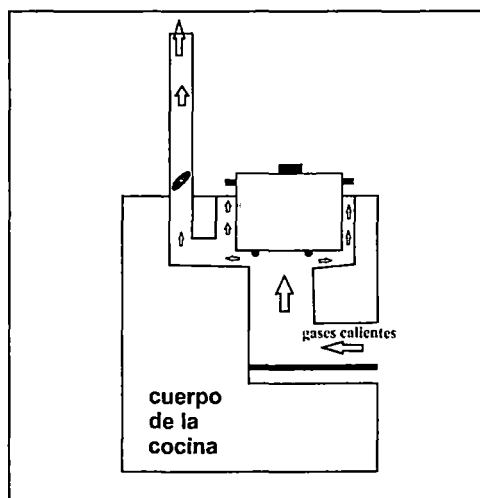


Figura N° 4.17. Recorrido de los gases calientes en el interior de la cocina mejorada

Para una visualización real de la cocina mejorada con material ladrillo de construcción, se dibujó, en el software 3d-Studio Max, es una visualización real de la cocina mejorada con materiales ladrillo, mostrándose en la figura N° 4.18.

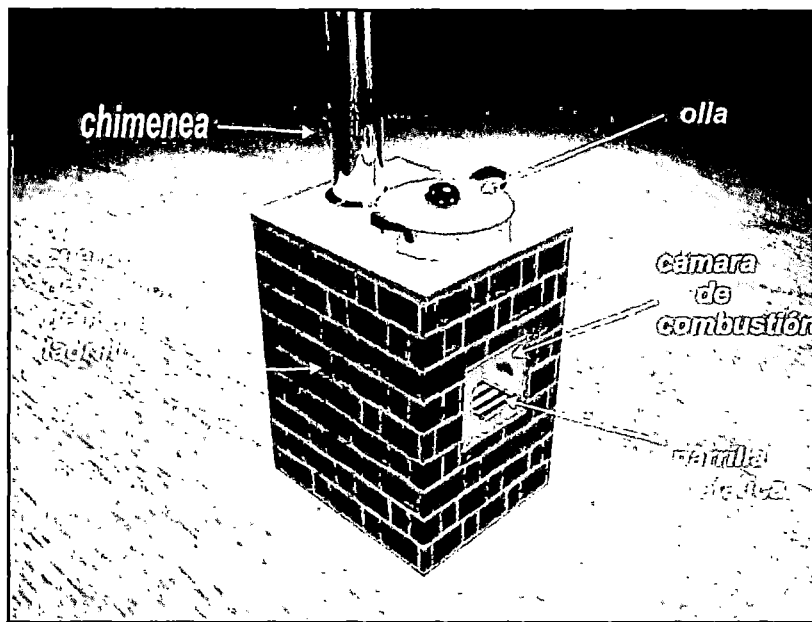


Figura N° 4.18. Cocina mejorada con cuerpo de ladrillo

4.12.2. CAMARA DE COMBUSTION

Para la cámara de combustión 3 (altura interior de 29 cm), con un diámetro interno de 14.30 cm, el tiempo de duración de la fase (tiempo de ebullición local) es de 31 minutos, con una eficiencia de 19.40%, en tanto para la cámara de combustión final, mezcla en masa de arcilla/sílice, el tiempo de duración de la fase fue de 18 minutos, con una eficiencia de 26.44 % (valor promedio de la 1° y 2 ° fase), siendo una reducción del tiempo de ebullición de 13 minutos, esto debido a que el material de la cámara de combustión, es de mezcla arcilla-sílice, además, se incrementó en diámetro interior en 1 cm aproximadamente , lo que alberga 2 a 3 leños de 5 a 8 cm de sección transversal.

La altura del lecho de combustible a la base de la olla, es un factor muy importante, a medida que se eleva la altura, los gases calientes que salen de la cámara de combustión, se enfrían y la olla no aprovecha dicha energía.

En tanto para el diámetro interior de la cámara de combustión, es en función de la potencia que se necesita, a mayor diámetro interno de la cámara de combustión, la potencia será mayor, ya que se podrá colocar más leña, pero la no necesariamente con la eficiencia ocurra lo mismo.

La cámara de combustión de los fogones tradicionales es de forma cuadrada, que la combustión se realiza de manera descontrolada y la formación de carbones es un hecho, el uso de parrillas metálicas para mejorar la combustión

no es conocido por el poblador rural por su escasa preparación, tampoco conoce los beneficios de construir una cámara de combustión en forma de "L".

La altura del lecho del combustible a la olla para la cocina mejorada propuesta es.

$$H_{Lech-olla} = H_{c.c.} - H_{parrilla} + G_c \quad (4.2)$$

Dónde:

$H_{Lech-olla}$ = Altura del lecho del combustible a la base de la olla, cm

$H_{c.c.}$ = Altura interior de la cámara de combustión, 27.50 (tabla N° 4.4)

$H_{parrilla}$ = Altura de la parrilla metálica = 4.0 cm.

El diámetro de la parrilla metálica es de 1 cm aproximadamente, que sumando a la altura de la parrilla metálica es 4.825 cm = 5. cm

Reemplazando en la ecuación N° (4.2), se tiene.

$$H_{Lecho-olla} = 27.50 - 5 + 3.5 = 26 \text{ cm}$$

La altura del lecho del combustible a la base de la olla es de 26.0 cm, que está en el rango recomendado por Álvarez (2009).

4.12.3. COMPARACION EN FUNCION DE LA PEA

Para las siguientes comparaciones son para un GAP de 1cm, que se registró una eficiencia térmica que es de 25.74%, con la cocina tradicional (fogón).

A) Fase de alta potencia con inicio frio (1° fase de la PEA)

En la figura N° 4.19, se muestra la comparación entre la cocina mejorada con la cocina tradicional.

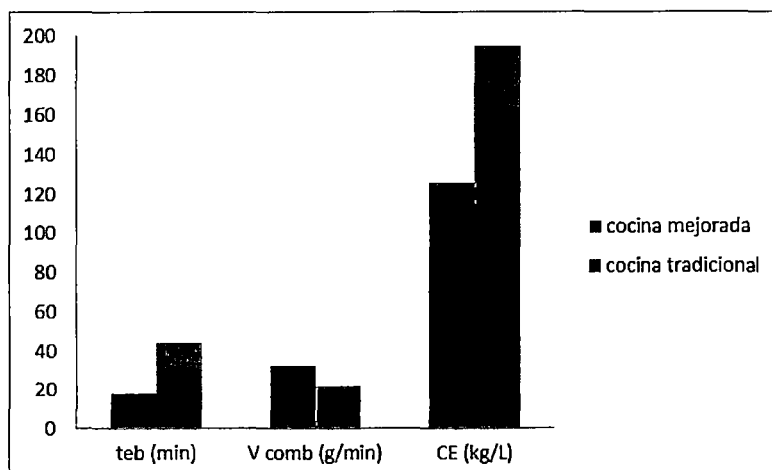


Figura N° 4.19. Comparación de la cocina mejorada con la cocina tradicional, 1° fase

De la figura N° 4.19, tiempo de duración de la fase para la cocina mejorada es de 18.67 minutos, que en comparación con la cocina tradicional es de 44 minutos, que la cocina mejorada representa un ahorro del tiempo de 28 minutos. Para la cocina mejorada la leña consumida en la fase es de 0.76 kg (tabla N° 4.10), en cambio para una cocina tradicional es de 2.11 kg (tabla N° 4.15), que la cocina mejorada representa un ahorro de combustible de 1.348 kg (la cocina mejorada representa un ahorro de combustible de 64%, con respecto a la cocina tradicional) debido a que la cámara de combustión de la cocina mejorada es material cerámico, con configuración en "L" y aislado con ladrillo aislante y fibra cerámica.

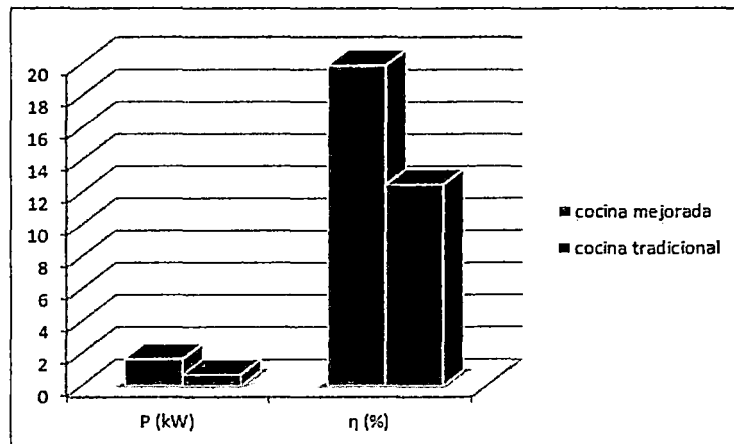


Figura N° 4.20. Eficiencia térmica, cocina mejorada Vs cocina tradicional, 1° fase.

De la figura N° 4.20, se aprecia que la eficiencia térmica de la cocina mejorada es de 23.61% en la 1° fase, que para una cocina tradicional es de 14.48 %, por consiguiente la eficiencia de la cocina mejorada representa casi el doble de la cocina tradicional.

En relación al carbón creado en la fase, se aprecia que para la cocina mejorada, se crea 50 gramos de carbón, frente a 590 gramos en la cocina tradicional, esta pequeña producción de carbón para la cocina mejorada es que cuenta con una parrilla metálica, que además de sostener al combustible y dotar de aire, sirve como un posadera para que el carbón que se desprenda de la leña se siga quemándose en la parrilla hasta convertirse en ceniza, de esta manera sigue generando y ayudando la combustión de los leños dentro de la cámara de combustión. La parrilla metálica también ayuda en la combustión de la leña en vista que absorbe calor (calor sensible), y como está sobre la parrilla la leña, esta se calienta gradualmente y propicia la combustión de la leña.

La figura N° 4.21, muestra el preciso instante en que se saca la parrilla metálica dentro de la cámara de combustión, cuando finaliza la fase



Figura N° 4.21. Calentamiento de la parrilla metálica.

B) Fase de alta potencia con inicio caliente (2° fase de la PEA)

En la figura N° 4.22, se muestra la comparación de la cocina mejorada con la cocina tradicional

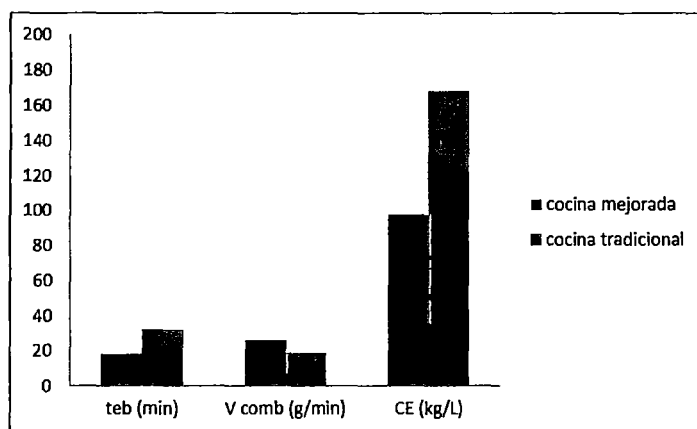


Figura N° 4.22. Comparación de la cocina mejorada con la cocina tradicional, en la 2° fase.

De la figura N° 4.22, el tiempo de ebullición de la cocina mejorada es de 18, para la cocina tradicional es de 32 minutos, lo que hay un indicativo en la reducción del tiempo de operación. Para los demás variables, se aprecia que la cocina mejorada es superior frente a la cocina tradicional.

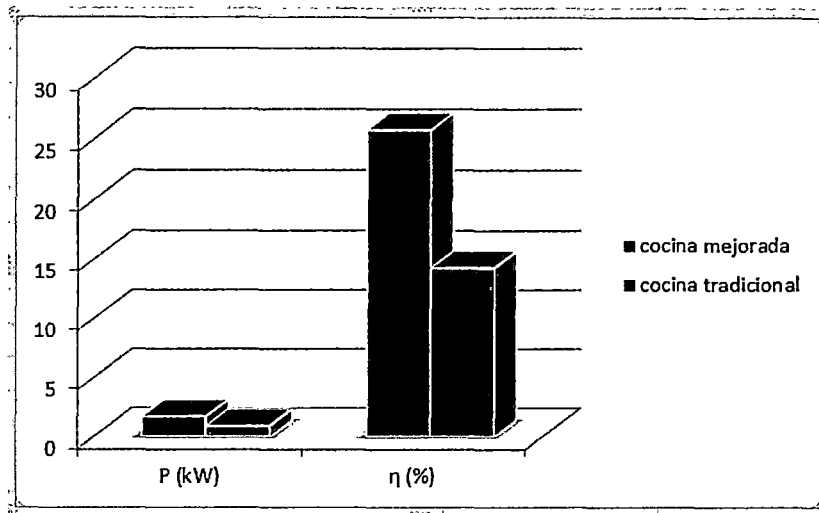


Figura N° 4.23. Eficiencia térmica, cocina mejorada Vs cocina tradicional, 2° fase.

De la figura N° 4.23, se observa que la eficiencia térmica de la cocina mejorada es casi el doble en comparación de la cocina tradicional, por lo que la cocina mejorada cuenta con partes que en conjunto ayudan a que el calor entregado por el combustible intercepte en mayor proporción el cuerpo frío (olla), además de que la cámara de combustión y las chaquetas que se encuentran aisladas.

Para Álvarez H, 2009, la eficiencia térmica de una cocina tradicional de tres piedras (colocado la olla sobre tres bloques de adobe), es de 17.5%, evaluado por la PEA. Como se puede comparar la eficiencia de la cocina mejorada es siempre mayor a la cocina tradicional, ya que en su diseño se considera aspectos que son.

- Usar una cámara de combustión e forma de "L"
- Usar parrilla metálica
- Aislar la cámara de combustión
- Instalar una chimenea.

4.13. DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES DE LA COCINA MEJORADA

A continuación se detallan las partes que lo componen la cocina mejorada propuesta.

- Olla: de material aluminio, número N° 30
- Soporte metálico: actúa como el cuerpo de la cocina mejorada, su finalidad es contenedor de las demás partes de la cocina mejorada y de establecer una altura de operación del usuario.
- Carcasa metálica: cuya finalidad es proteger a la cámara de combustión o codo cerámico, además entre la carcasa y el codo cerámico se puso

manto cerámico como aislante, entonces la carcasa metálica hace que cubra el aislante a la cámara de combustión.

- Parilla metálica: cuya finalidad es sostener al combustible (leña), sobre un altura determinada con respecto al piso de la cámara de combustión y de dotar de aire para la combustión de la leña.
- Disco metálico: cuya finalidad es distribuir el calor tanto por debajo y del costado de la olla y de soporte para las chaquetas móviles.
- Disco cerámico: cuya finalidad es reducir las pérdidas de calor por el disco metálico.
- Chaquetas móviles: cuya finalidad es crear un espacio, GAP (distancia radial entre la olla y la chaqueta), por consiguiente estudiar la influencia de la misma en el desempeño de la cocina.
- Codo metálico: cuya finalidad es conectar la chaqueta móvil con la chimenea.
- Chimenea metálica: cuya finalidad es evacuar los gases resultantes de la combustión de la leña a la parte exterior del ambiente (en nuestro caso eso no fue posible ya que el techo del Laboratorio de Materiales y Cerámica, tiene una altura de techo aproximadamente de 4 m.
- Capucha protectora: cuya finalidad es proteger la chimenea de los vientos y de la lluvia.

La figura N° 4.24, muestra los componentes antes mencionados.

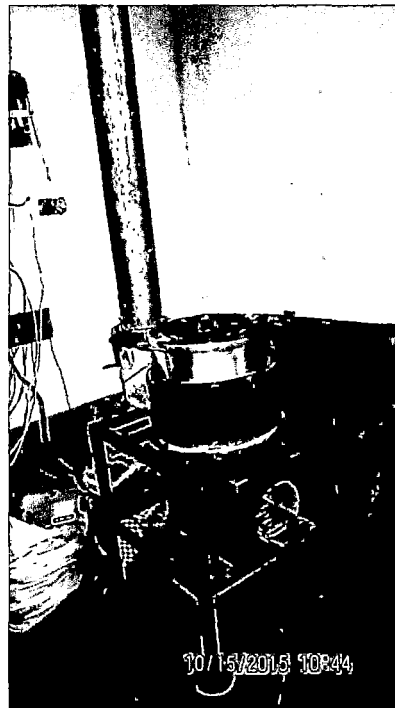


Figura N° 4.24. Cocina mejorada propuesta

CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó una cámara de combustión con una altura interior de 27.50 cm y un diámetro interno de 15.30 cm, el material de la cámara de combustión es mezcla en masa de la arcilla procedente de San Jerónimo- Cusco, con el mineral Sílice procedente de Lampa-Puno (50%/50%), cuya conductividad térmica es de 0.432 W/ m-°C, cuya altura del lecho del combustible a la base de la olla de 26.0 cm.
- El diseño de la cocina mejorada consideró una altura de la chimenea de 2.5 metros de altura y diámetro interno 12 cm.
- Se evaluó la cocina mejorada con diferentes GAP (1 y 1.5 cm), siendo el GAP óptimo el de 1 cm.
- De la evaluación de la cocina mejorada, se determinó su eficiencia térmica de 25.74 % y potencia promedio de 1.72 kW.
- Comparando la cocina tradicional con la cocina mejorada propuesta en esta investigación, la cocina mejorada logró ahorrar leña 64%, respecto a la tradicional.

SUGERENCIAS

- Estudiar el diámetro interno de la cámara de combustión con la altura interna de la misma, en función de la potencia promedio y la eficiencia térmica.
- Evaluar la cocina mejorada usando válvula mariposa (porcentaje de abertura de la chimenea), en función de la potencia promedio y la eficiencia térmica.
- Instalar una segunda olla a la cocina mejorada, a 6 cm de la primera para aprovechar el calor que se pierde por la chimenea.
- Realizar la evaluación de la cocina mejorada propuesta con leña de árboles nativos de la zona.
- Sensibilizar a la población rural de la provincia de Urubamba, en las ventajas del uso de cocinas mejoradas en temas de salud y las implicancias medioambientales.

BIBLIOGRAFÍA

TEXTOS:

1. BALDWIN, SAMUEL F. 1987, *Biomass Stoves: Engineering Design, and Dissemination*. Arlington, Virginia: VITA, E.E.U.U.
2. BIRD R. BYRON, W. S. 1992 . *Fenómenos de Transporte* : Editorial Reverté, S. A.México.
3. C.J., GEANCOPLIS. 1998 . *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. : Editorial continental S.A, México
4. FACINCANI, E. 1993 . *Tecnología Cerámica los Ladrillos*. Tercera edición, grupo editoriale faenza editrice, Italia.
5. FERNÁNDEZ, C. J. 1992 . " *Hornos Ceramicos a Gas - Leña - Carbon - Gas Oil*". Argentina: Editorial Condorhuasi, Argentina.
6. GONZÁLES, O. F. 2000 . *Diseño y Mantenimiento de Hornos Industriales*. Salamanca-España: S.C.I., España.
7. HALD, P. 1986. *Técnica de la Cerámica*. Barcelona: Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España.
8. HERNÁNDEZ SAMPIERI ROBERTO, F. C. 1991 . *Metodología de la Invetigacion*. quinta edición, McGraw-Hill/ Interamericana Editores, S.A. de C.V, México.
9. HOLMAN, J. 1999 . *Transferencia de Calor*. décima reimpresión.Compania Editorial Contiental, S.A. de C.V., México.
10. HÜTTE. 1958. *Manual del Ingeniero Químico* . Barcelona: Gustavo Gil Editor S.A.- España
11. INCROPERA P. FRANK, D. P. 1999. *Fundamentos de Transferencia de calor*. Pretence Hall Hispanoamericana, S.A., México.
12. J.M. SMITH, H. V. 1992 . *Introducción a la Termominamica en Ingeniería Química*. sétima edicion . Mcgraw-Hill/ Interamericana Editores, S.A,México.
13. JAMES R. WELTY. 1992 . *Transferencia de Calor aplicada a la Ingeniería*. Editorial Limusa S.A. de C.V. . Grupo Norieg Editores, México.
14. KARLEKLAR B.V, D. R. 1996 . *Transferencia de Calor*. Segunda edicion: McGraw-Hill/Interamericana de Mexico, S.A. DE C.V., México.
15. KERN, D. Q. 1997. *Procesos de Tranferencia de Calor*. trigésima primera reimpresión: Compañía Editorial Contiental, S.A. de C.V., México.
16. LUYANGWOOL. 2014. "*Ceramic Fibre, Refractori Material Customized Service Expert*", Shandong Luyang Share Co., L.T.D, China.

17. MIRANDA, B. A 2002.. *Cálculo de Instalaciones y Equipos.*: Ediciones CEAC, S.A., 2002, Perú.
18. MORIS FAIRES VIRGIL, M. S. 1983. *Termodinamica*. 6ta edicion: Editorial Hispano Americana, S.A. de C.V., México .
19. MOTT ROBERT. 199. "*Mecánica de Fluidos Aplicada*". 4ta edición: Editorial Pretence Hall Hispanomaerica , S.A., México.
20. PERRY CHILTON, J. H. 2001. "*Manual del Ingeniero Químico* " (Vols. Tomo I - II).. Tercera Edición : McGraw-Hill/ Interamreciana editores, S.A. de C.V., México.
21. SCHUHMANN REINHARDT. 1952. "*Ingeniera Metalúrgica*". Editorial Continental S.A., México.
22. VIGNOTE, P. S. 2006 . *Tecnología de la Madera*. Madrid- Barcelona: Mundi-Prensa-España.

TESIS

1. ALVARÉZ PABLO H. J. 2009. *Estudio de Cocinas Mejoradas Empleando Leña y Bosta como Combustible*. Tesis para optar al título de Ingeniero Mecánico: Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.
2. CAMACHO ROCÍO, Z.S. (2009). "*Determinación de la curva de cocción en la Fabricación de Ladrillos tipo Comercial de la Comunidad de Sucso Aucaylle*" (*investigación Tecnológica*). Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico: Universidad Nacional De San Antonio Abad del Cusco, Perú.
3. LOVON QUINTANA JUAN J., Y. H. 1991 . *Diseño de Proceso y Hornos para la Fabricación de Productos Estructurales de Arcilla- Refractarios*. Tesis para optar el título Profesional de Ingeniero Químico: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú.
4. LUQUE IBARRA, L. M. 2006. *Reconversión del Sistema de Combustión en Hornos para Ladrillos y Tejas utilizando el Gas Natural en la Empresa Latesa (proyecto de investigación)*. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico: Universidad Nacional de San antonio Abad del Cusco, Perú.
5. MORALES TITO, H. 2013. *Diseño y Construcción de un Horno a Fuelóleo para la Fusión de Vidrio Reciclado*. Tesis para optar el Título de Ingeniero Químico: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú.

SEMINARIO CURRICULAR

1. CHECYA LIMA, E, A.G.J., 2011.*Estudio de la Conductividad Térmica de un Mineral de Cuarzo*. Seminario Curricular de Ingeniería Química: Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.

ARTICULOS Y PUBLICACIONES

1. APROVECHO, R. C. 2006. *Principios de Diseño para Estufas de Cocción a Leña*. Eugene -E.E.U.U.: Aprovecho Research Center- Shell Foundation. E.E.U.U.
2. ASIA REGIONAL COOKSTOVE PROGRAMME AND ENERGY RESERACH CENTRE OF PANJAB UNIVERSITY, C. 1993 . *Improve Solid Biomass Burning Cookstove: A development Manual*. Bangkok, September : The FAO Regional Wood Energy Development Programme in Asia,Thailand.
3. ASSUREIRA ESPINOZA ESTELA, A. E. 2007. Diseño, Evaluación y Programa de Transferencia de Doña Olga: Una cocina institucional mejorada. 8° Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, 08, (Cusco, 23 al 25 de Octubre de 2007), Perú,
4. ENDEV/GTZ, 2009, Proyecto Energia Desarrollo y Vida, Perú.
5. GIL MORA JUAN EDUARDO, C. C. 2008 . *Alternativas Energeticas Requeridas por la Familia Campesina en la Cordillera del Vilcanota. Estudio Complementario*. CUSCO: "s. n.", Perú.
6. HEISING, K. 2005. La Implementación de Cocinas Saludables como Intervención clave en el Mejoramiento de la salud Amiental en los Andes. *PROYECTO REGIONAL: LA SALUD EN COMUNIDADES INDIGENAS, convenio GTZ-OPS/ OMS, 26-27*, Perú.
7. I.N.E.I. 2008. Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda . *PERFIL SOCIODEMOGRÁFICO DEL PERÚ*, Segunda edición.Instituto Nacional de Estadística e Informatica-Perú.
8. INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA. 2009 . *Estudios Comparativo de Estufas Mejoradas para Sustentar un Programa de Intervención Masiva en México*. Mexico: Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental del Instituto, Mexico.
9. M.E.M. 2009. Programa de Sustitucion de Cocinas: Proyecto 00057676-00071506. *Licitacion Pública Internacional Proyecto 00057676-00071506 "Adquisición de Partes para la Contrucción de Cocinas Mejoradas*,Miniterio de Energías y Minas-PERÚ.
10. MINAM. 2011. Foro Internacional de la Calidad del Aire Interior, Ministerio del Medio Ambiente, Lima-Perú
11. O M S. 2002. The World health report 2002:Reducing risks, promoting healthy life . *The World Health*.
12. OM S. 2002. *Energía doméstica y salud: Combustible para una vida mejor*.
13. PROYECTO NINA. 2011. Taller de Capacitación en Instalación de Cocinas Mejoradas modelo Inkahuasi Tahua, llevado acabo del 20 de Febrero al 02 de Marzo de 2011, Coya-Cusco-Perú.

14. QUIÑONEZ, M. Ana Cecilcia. 2011. Las Cocinas Mejoradas: Una Alternativa de Alivio Contra la Pobreza y Reducción de los Gases de Efecto Invernadero en el Cusco. *II DIPLOMADO EN CIENCIA Y GESTIÓN FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO*, Cusco ,Perú.
15. SENCICO. 2009. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Servicio Nacional de Capacitacion para la Industria de la Construcción. *Reglamento para la Evaluación y Certificación de Ccocina Mejorada*, Perú.
16. SILVA, S.H., Z.G., 2007.Efecto de la Cocinas Tradicionales y las Cocinas Mejoradas en Épocas de Frijaje en Cuatro localidades de Extrema Pobreza de las Zonas Altoandinas del Departamento del Cusco, Perú.
17. TALLER, INTI. 2009. XVI SIMPOSIO PERUANO DE ENERGÍA SOLAR. *Líderes en Innovaciones Tecnológicas con Energías Renovables*, Espinar- Cusco, Perú.
18. TORRES, M. HUGO. 2011. Diseño, Construcción y Evaluacion de una Cocina Mejorada con Intercambiador de Calor. *Centro de Energías Renovables de Tacna-Facultad de Ciencias*, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna, Perú .
19. VICERRECTORADO DE INVESTIGACION. 2014. Salud, Medio Ambiente y Agricultura "UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAB DEL CUSCO. *Cuaderno de Investigacion N° 2*, del 37 al 44, PERÚ.
20. WESTHOFF BEATRIX, G. 1995. *Estufas e Imágenes:Una documentación sobre las estufas mejoradas y tradicionales en África, Asia y América Latina*. Comision de las Comunidades Europeas D.CC DGD, SFE, GTZ.Alemania.

PAGINAS WEB

1. Harold Javier Álvarez Pablo, "Estudio de cocinas mejoradas empleando leña y bosta como combustible", tesis de PUCP, descargada el 06/08/2012.disponible en.
[Http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/571](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/571)
2. Hugo Torres Muro, "diseño construcción y evaluación de una cocina mejorada con intercambiador de calor, descargada el 10/08/2012. Disponible en.
[Http://www.perusolar.org/include/simposios/archivos16/ponencias16/DISEÑO%20CONSTRUCCION%20Y%20EVALUACION%20%20DE%20UNA%20COCINA%20MEJORADA%20CON%20%20INTERCAMBIADOR%20DE%20CALOR](http://www.perusolar.org/include/simposios/archivos16/ponencias16/DISEÑO%20CONSTRUCCION%20Y%20EVALUACION%20%20DE%20UNA%20COCINA%20MEJORADA%20CON%20%20INTERCAMBIADOR%20DE%20CALOR).
3. Baldwin, Samuel F., "Biomass Stoves, Engineering Design and Dissemination," descargada el 05/06/2012.disponible en.
[Http://blog.newdawnengineering.com/website/library/Papers+Articles/Biomass%20Stoves.%20Engineering%20Design.%20Development%20and%20Dissemination.%20Samuel%20Baldwin%201987](http://blog.newdawnengineering.com/website/library/Papers+Articles/Biomass%20Stoves.%20Engineering%20Design.%20Development%20and%20Dissemination.%20Samuel%20Baldwin%201987).

4. Silva Serrano Homero, Zeñida Giraldo Sandra. "Efecto de la Cocinas Tradicionales y las Cocinas Mejoradas en Épocas de Friaje en Cuatro localidades de Extrema Pobreza de las Zonas Altoandinas del Departamento del Cusco", accesado el 05/06/2012. disponible en:

<http://www.cocinasmejoradasperu.org.pe/documentacion/EFFECTOS%20DE%20LAS%20COCINAS%20TRADICIONALES%20Y%20MEJORADA%20S.pdf>

5. Estela Assureira y Marco Assureira, "Diseño, Evaluación y Programa de Transferencia Tecnológica de Doña Olga: Una cocina institucional Mejorada ", 8° Congreso Iberoamericana de Ingeniería Mecánica, Cusco del 23 al 25 de Octubre de 2007, descargada el 10/05/2012. Disponible en.

<http://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf>.

6. Instituto Nacional de Geología, "Estudio comparativo de Estufas Mejoradas para Sustentar un Programa de Intervención Masiva en México, consultado el 15/01/2013. Disponible en.

http://cleancookstoves.org/resources_files/estudio-comparativo-de.pdf

7. Taller Inti, "La cocina mejorada como eje para el bienestar de la familia andina", consultada el 2/01/2014. Disponible en. [http://perusolar.org/16-spes-](http://perusolar.org/16-spes-ponencias/La%20cocina%20mejorada%20como%20eje%20para%20el%20bienestar%20de%20la%20familia%20andina)

[ponencias/La%20cocina%20mejorada%20como%20eje%20para%20el%20bienestar%20de%20la%20familia%20andina](http://perusolar.org/16-spes-ponencias/La%20cocina%20mejorada%20como%20eje%20para%20el%20bienestar%20de%20la%20familia%20andina)

8. Westhoff Beatrix, G.: "Estufas e Imágenes ", una documentación sobre las estufas mejoradas y tradicionales en África, Asia y América Latina, consultada el 04/05/2014. disponible en.

http://www.cocinasmejoradasperu.org.pe/Publicaciones/Estufas_en_Africa_America_Latina_y_Asia.

9. SENCICO: "Reglamento para la Certificación y Evaluación de la Cocina Mejorada, consultada el 10/04/2014. Disponible en.

http://www.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/ReglamentoGINCocinasMejoradas.pdf

10. MEM: "Plan Referencial del uso Eficiente de la Energía, 2009-2018, Ministerio de Energía y Minas, consultada el 10/04/2014. Disponible en.

[http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Plan%20Referencial%20del%20Uso%20Eficiente%20de%20la%20Energ%C3%83%C2%ADa%202009-2018\(2\).pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Plan%20Referencial%20del%20Uso%20Eficiente%20de%20la%20Energ%C3%83%C2%ADa%202009-2018(2).pdf)

11. Aprovecho. Org. "Principios de Diseño para Estufas de Cocción a Leña, descargada el 09/07/2012. Disponible en.

http://www.aprovecho.org%2Fflab%2Fpubs%2Frl%2Fspanish%2Fdoc%2F189%2Fraw&ei=asgOUPy0Jlia9gTX8lCIBA&usq=AFQjCNGqH0_OAcoQ48anRqfd7jmPSAirsw

12. Aprovecho. Org, "Prueba de Ebullición del Agua", versión 3.0., consultada el 10/04/2014. Disponible en.

http://ehs.sph.berkeley.edu/hem/content/WBT_Version_3.0_Jan2007a

13. Eduardo Gil Mora "Alternativa Energéticas Requeridas por las Familias Campesinas en la cordillera del Vilcanota", consultada el 04/02/2015. disponible en.

http://www.ecoanperu.org/pdf/alt_energ_estudio_complem.

14. Ana Cecilia Quiñonez Manga, "La cocina Mejorada: Una alternativa de alivio contra la pobreza y reducción de gases efecto invernadero en el Cusco", consultada el 04/03/2015. disponible en.

<http://www.siar.regioncusco.gob.pe/index.php?accion=verElemento&idElementoInformacion=1881&verPor=&idTipoElemento=24&idTipoFuente=>

15. MINAM. "Foro Internacional de Calidad de Aire Interior", Lima, consultada el 04/02/2015. disponible en.

<http://www.cocinasmejoradasperu.org.pe/Publicaciones/Informe%20Sistematizaci%C3%B3n%20Foro%20Mundial%20por%20Aire%20Limpio.PDF>

APÉNDICES

**APÉNDICE 1
FORMULARIO DE LA PEA.**

Número de prueba Fecha hora inicio

Temperatura ambiental °C Masa de la olla (gr.)

Conten.leña (gr.) Conte.carbon (gr.)

Volumen de agua (L) Agua+ olla (kg.)

Aislante (gr.) Temperatura inicial del agua °C

Altura total de la c.c. (cm.) diámetro c.c. (cm.)

Dimensiones de la leña (cm) GAP (cm)

INICIO DE LA PRUEBA DE EBULLICIÓN DEL AGUA CON INICIO FRIO- 1° FASE

Masa de leña (gr.) Masa de astillas (gr.)

$H_{Lech-olla}$ (cm) G_c (cm)

DEPUES DE ALCANZAR A HERVIR 05 LITROS DE AGUA

Lleña +conten+aislan.(kg.) Astillas +conte .(kg)

Carbón+conte.+aíslan. (Kg) Hora final (min)

Masa olla+ agua+aíslan.(kg) Temperatura de ebullición local, °C

$H_{bcc-olla}$ = es la altura entre la base de la olla y la boca de la cámara de combustión.

$H_{lecho-olla}$.= Altura del lecho de combustible a la base de la olla, cm

Las dimensiones de la leña son en el orden lado por lado por la longitud

G_c = altura de la olla con respecto a la boca de la cámara de combustión

INICIO DE LA SEGUNDA FASE

Hora inicio Temperatura ambiental °C
Volumen de agua (L) Masa de agua+olla (kg.)
Temperatura inicial del agua, °C Temperatura ambiente °C

**INICIO DE LA PRUEBA DE EBULLICIÓN DEL AGUA CON INICIO CALIENTE
2° FASE**

Leña (kg.) Dimensiones de la leña (cm.)

DEPUES DE ALCANZAR A HERVIR 05 LITROS DE AGUA

Lleña +conten+aislan.(kg.) Carbón + cont.+ ailant(.kg)
Hora final (min) Olla + agua + aislant. (Kg)
Temperatura de ebullición local °C

INICIO DE LA TERCERA FASE

Hora inicio Temperatura ambiental °C

Masa de agua+olla (kg.) Temperatura inicial del agua (°c)

**INICIO DE LA PRUEBA DE EBULLICIÓN DEL AGUA CON INICIO CALIENTE
3° FASE**

Masa de leña (gr.) Dimensiones de la leña (cm)

DESPUES DE 45 MINUTOS

Lleña +conten+aislan.(kg.) Astillas +conte.(kg)

Carbón+conte.+aíslan. (kg) Hora final (min)

Olla+ agua+aíslan.(kg) Temperatura de ebullición local °C

TABLA DE TOMA DE DATOS PARA LAS TEMPERATURAS, EN °C

Tiempo (min.)	T _{c.c.}	T _{ext C.C.}	T _{boca c.c.}	T _{b-olla}	T _{m-GAP}	T _{m-chim}	T _{agua}
0							
2							
4							
6							
8							
10							
12							
14							
16							
18							
20							
22							
24							
26							
28							
30							
32							
34							
36							
38							
40							
42							
44							
45							

Observaciones:

.....

APÉNDICE 2

DATOS ORIGINADOS EN EVALUACION, PARA LAS CÁMARAS DE COMBUSTIÓN.

Cámara de combustión (C.C.)	1	2	3
Numero de prueba	Promedio	Promedio	Promedio
Astillas (kg)	0.20	0.20	0.28
Leña al inicio (kg)	1.20	1.15	1.40
Leña al final (kg)	0.21	0.20	0.28
Leña consumida, f_m (kg)	1.19	1.15	1.40
Leña convertida en energía, f_a (kg)	0.96	0.89	1.05
ΔC (kg)	0.070	0.090	0.090
$m_{\text{agua i}}$ (kg)	4.98	4.98	4.98
$m_{\text{agua f}}$ (kg)	4.38	4.38	4.38
m_{vapor} (kg)	0.6	0.60	0.60
t_{eb} . (min)	25.0	31.00	44.00
T_i (°C)	18.30	18.30	17.75
T_{eb} °C	89.10	89.3	89.10

APÉNDICE 3

TEMPERATURAS PROMEDIO EN LA COCINA MEJORADA

Para la cámara de combustión

Componente	Medición
$V_{\text{comb}} \left(\frac{g}{\text{min}} \right)$	32.15
$T_{\text{ext.c.c}} \text{ (°C)}$	480*

*para registrar esta temperatura, a la cámara de combustión, se quemó leña por 1.5 horas, lo cual al término de este tiempo se midió la temperatura en l parte exterior de la cámara de combustión.

GAP= 1cm

Componente	Promedio (°C)
$T_{c.c.}$	710
T_{olla}	435.5
$T_{m\ GAP}$	320
$T_{m\ chim}$	281.5

GAP= 1.5 cm

Componente	Promedio (°C)
$T_{c.c.}$	650
T_{olla}	435.5
$T_{m\ GAP}$	430
$T_{m\ chim}$	290

ANEXOS

ANEXO 2

CONDICIONES ATMOSFÉRICAS EN LA CIUDAD DEL CUSCO.

Punto de ebullición del agua 89°C

Presión atmosférica 512mmHg

Porcentaje de humedad 60%

Temperatura media del ambiente 17°C

Presión de vapor del a 17°C = 9 mm Hg

Altura sobre el nivel de mar, 3399 m

[Http://www.swisscontact.org.pe](http://www.swisscontact.org.pe)

Peso molecular del aire.

PM = 0.0288 Kg/ mol (Morales, 2013)

Densidad del aire.

$\rho_{aire} = 0.84 \text{ kg/m}^3$ (Morales, 2013)

PLANOS