

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PROPUESTA DE COCINA A GAS LICUADO DE PETRÓLEO DE
DOS HORNILLAS PARA USO DOMÉSTICO**

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO

MECÁNICO

AUTOR

GUSTAVO ADOLFO DEL CASTILLO VELARDE

ASESOR:

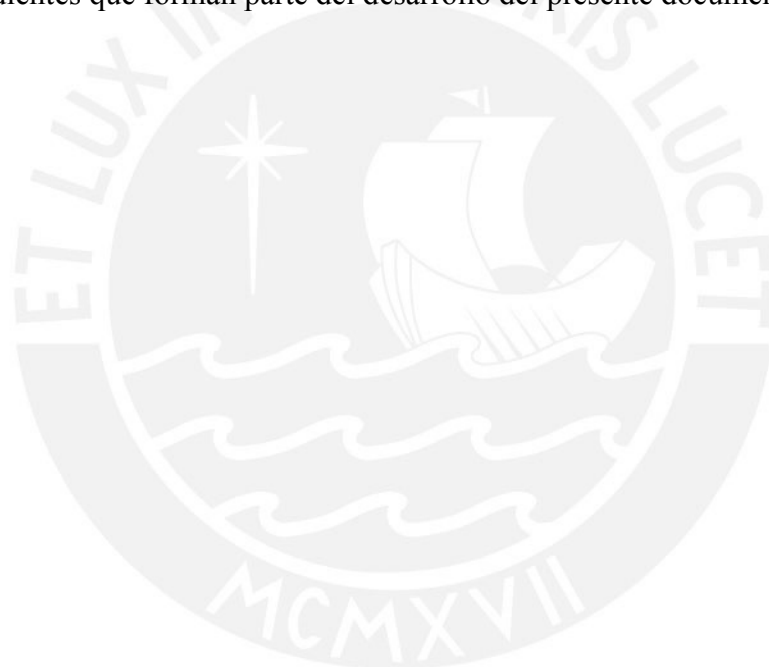
MG. ING. FERNANDO OCTAVIO JIMÉNEZ UGARTE

Lima, Abril de 2019

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis compañeros, profesores y asesores por la ayuda y guía a lo largo de la carrera, sobre todo durante el desarrollo de este proyecto de tesis.

Además, agradezco a proyecto 157-FINCYT-IA-2013 por el financiamiento que ayudó en adquirir los elementos y equipos necesarios que permitieron realizar los ensayos correspondientes que forman parte del desarrollo del presente documento.



RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo desarrollar un prototipo de cocina tipo anafe (cocina pequeña y transportable) de 1.5 kW de bajo costo y alta eficiencia que opera en la Ciudad de Lima.

En un primer capítulo se determinan los requerimientos de diseño para un hogar peruano promedio y las características de las cocinas comerciales en base a normativa extranjera. Luego, en un segundo capítulo, se evalúa cada elemento de la cocina anafe de forma independiente para determinar su relevancia en aspectos como consumo, eficiencia y emisiones y economía. Finalmente, se genera un prototipo de cocina anafe y se evalúa tanto de manera energética como ambiental.

Los resultados muestran que el rendimiento supera el valor mínimo recomendado por la norma extranjera, 58%; alcanzando 64.1% superando a las cocinas comerciales que se distribuyen a nivel nacional (alrededor de 46%). Con ello se reduce el tiempo de cocción de 1.4 horas a 1.1 horas diarias de cocción y prolongar la autonomía en 11 días. A nivel nacional implica una reducción de 146.13 millones de kg de GLP y un ahorro de 40.28 millones de soles.

Respecto al aspecto ambiental, la concentración de CO neutro se reduce a 0.052 %CO_N, valor por debajo de lo recomendado por la norma extranjera (0.1 %CO_N) y siendo 5 veces menos contaminante que las cocinas comerciales (0.283%CO_N). A nivel nacional, de implementarse un cambio de las cocinas anafe, se generaría una reducción de 142.32 millones de kg de emisiones de CO₂, esto implica un ahorro de 3.1 millones de soles. También se reduce la concentración de monóxido de carbono en 8.57 millones de kg.

Finalmente, se presenta un análisis económico básico de los costos de fabricación de este prototipo, llegando a un costo de fabricación de S/ 25.6 soles.

En conclusión, se presenta una cocina prototipo que logra tener un rendimiento superior al de las cocinas comerciales y reducir los GEI y contaminantes; sin superar los costos de fabricación de las cocinas que se distribuyen a nivel nacional. Todo ello bajo la recomendación de combustión, operación, construcción y de salud de las Normas internacionales.

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| AGRADECIMIENTOS | i |
| RESUMEN | i |
| LISTA DE FIGURAS | v |
| LISTA DE TABLAS | viii |
| LISTA DE SIMBOLOS | xi |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| Objetivos..... | 3 |
| Objetivo general..... | 3 |
| Objetivos específicos..... | 3 |
| Alcances..... | 4 |
| Metodología..... | 5 |
| CAPÍTULO 1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA COCINA | 6 |
| 1.1. Descripción técnica de la cocina tipo anafe..... | 6 |
| 1.1.1. Componentes..... | 6 |
| 1.2. Requerimientos de un hogar..... | 10 |
| 1.3. Condiciones de operación..... | 13 |
| 1.3.1. Características de diseño y construcción..... | 14 |
| 1.3.2. Características de funcionamiento..... | 15 |
| 1.4. Protocolos de ensayos..... | 17 |
| 1.4.1. Instrumentación..... | 17 |
| 1.4.2. Consumo nominal..... | 19 |
| 1.4.3. Consumo reducido..... | 20 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 1.4.4. | Consumo total | 20 |
| 1.4.5. | Calentamiento | 21 |
| 1.4.6. | Rendimiento | 21 |
| 1.4.7. | Combustión | 22 |
| 1.5. | Evaluación (ensayos) del artefacto | 23 |
| 1.5.1. | Resultados | 23 |
| CAPÍTULO 2. DISEÑO BÁSICO DE LA COCINA | | 31 |
| 2.1. | Parrilla | 31 |
| 2.1.1. | Dimensionamiento | 33 |
| 2.2. | Soporte (estructura) | 37 |
| 2.2.1. | Dimensionamiento | 38 |
| 2.2.2. | Material | 39 |
| 2.3. | Válvula de regulación (perilla) | 42 |
| 2.4. | Mezclador | 48 |
| 2.5. | Quemador | 52 |
| 2.5.1. | Evaluación | 57 |
| 2.5.2. | Cálculo | 59 |
| 2.6. | Tubería | 66 |
| CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN ENERGÉTICA | | 72 |
| 3.1. | Evaluación energética del prototipo | 72 |
| CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN AMBIENTAL | | 78 |
| 4.1. | Introducción | 78 |
| 4.2. | Evaluación ambiental del prototipo | 81 |
| CAPÍTULO 5. COSTO DE FABRICACIÓN | | 86 |

| | |
|---|-----|
| 5.1. Costo de cocinas comerciales..... | 86 |
| 5.2. Costo de la cocina prototipo..... | 89 |
| CONCLUSIONES | 92 |
| RECOMENDACIONES | 94 |
| BIBLIOGRAFÍA | 95 |
| ANEXOS | 98 |
| Anexo 1 Propiedades del GLP | 99 |
| Anexo 2 Dispositivo de ensayo de la combustión de cada quemador | 100 |
| Anexo 3 Dispositivo de ensayo de la combustión para todos los quemadores en simultaneo..... | 101 |
| Anexo 4 Características de los recipientes para los ensayos de rendimiento | 102 |
| Anexo 5 Tamaño de recipiente y masa de agua correspondiente a la potencia de quemador para los ensayos de rendimiento | 103 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1.1 Partes de la cocina tipo anafe | 7 |
| Figura 1.2 Partes de un quemador atmosférico..... | 10 |
| Figura 1.3 Tipos de quemadores..... | 10 |
| Figura 1.4 Consumo promedio de balones de GLP por nivel de pobreza [2]..... | 11 |
| Figura 1.5 Consumo promedio mensual de balones de GLP (número de balones) [2] .. | 11 |
| Figura 1.6 banco de ensayos | 18 |
| Figura 1.7 Parámetros geométricos de la cocina. | 24 |
| Figura 1.8 Resultados del analizador de gases de la cocina (CL-01) | 24 |
| Figura 1.9 Cocina citecil enlozada (CL-01)..... | 25 |
| Figura 1.10 Cocina surge acero inoxidable (CA-01)..... | 27 |
| Figura 1.11 Cocina surge acero esmaltado (CE-01)..... | 28 |
| Figura 1.12 Cocina surge acero esmaltado (CE-02)..... | 29 |
| Figura 2.1 Configuración inicial (P0) de la cocina con olla #22 | 32 |
| Figura 2.2 Operación de cocina con parrilla de fábrica | 32 |
| Figura 2.3 Prueba de eficiencia para distintas alturas de parrilla. | 33 |
| Figura 2.4 Temperatura de la parrilla luego de operación | 34 |
| Figura 2.5 Propuesta de parrillas de 4 (a) y 3 (b) puntos con olla #22 | 35 |
| Figura 2.6 Parrillas a evaluar. | 35 |
| Figura 2.7 Efecto de las parrillas propuestas sobre la llama del quemador..... | 36 |
| Figura 2.8 Propuesta de parrillas mejorada con olla #22..... | 37 |
| Figura 2.9 Parrilla 3 puntos mejorada..... | 37 |
| Figura 2.10Cocina tipo anafe CE-01 con olla #22..... | 38 |

| | |
|---|----|
| Figura 2.11 Medidas preliminares para el nuevo soporte..... | 39 |
| Figura 2.12 Distribución de temperaturas para ensayo Fuente:..... | 40 |
| Figura 2.13 Fotográfica termografía de la cocina CL-01. | 41 |
| Figura 2.14 Fotográfica termografía de la cocina CA-01. | 41 |
| Figura 2.15 Fotográfica termografía de la cocina CE-01. | 42 |
| Figura 2.16 Explosión de válvula de quemador. | 43 |
| Figura 2.17 Mecanismo de reducción de flujo del gas. | 44 |
| Figura 2.18 Inyector..... | 44 |
| Figura 2.19 Comportamiento de la eficiencia en función de la potencia | 45 |
| Figura 2.20 Comportamiento de la eficiencia en función de la potencia y el tamaño de olla | 45 |
| Figura 2.21 Grafica de eficiencia (%) vs potencia del quemador (B). | 46 |
| Figura 2.22 Grafica de eficiencia (%) vs tipo de recipiente (A). | 46 |
| Figura 2.23 Distribución de las posiciones de la perilla de la cocina. | 47 |
| Figura 2.24 Prototipo de válvula de regulación de gas..... | 47 |
| Figura 2.25 Mezclador original de las cocinas tipo anafe nacionales | 48 |
| Figura 2.26. Esquema del sistema del quemador..... | 49 |
| Figura 2.27 Mezclador modificado..... | 52 |
| Figura 2.28 Esquema de estabilidad del frente de llama | 53 |
| Figura 2.29 Fenómeno de desprendimiento de llama. | 54 |
| Figura 2.30 Fenómeno de retroceso de llama. | 54 |
| Figura 2.31. Fenómeno de puntas amarillas. | 55 |
| Figura 2.32 Representación experimental de los límites de soplado, retroceso, puntas amarillas e higiene de combustión en función de la aireación y el caudal. | 56 |
| Figura 2.33 Quemador CL-01 en operación. | 58 |

| | |
|--|----|
| Figura 2.34 Quemador CA-01 en operación..... | 58 |
| Figura 2.35 Quemador CE-01 en operación. | 58 |
| Figura 2.36 Quemador CE-02 en operación. | 59 |
| Figura 2.37 Velocidad de propagación de la llama para el propano..... | 60 |
| Figura 2.38 Operación de un quemador de cocina típico | 63 |
| Figura 2.39 Perfil de temperatura de la llama de un quemador típico..... | 63 |
| Figura 2.40 Prototipos de tapas de quemadores | 64 |
| Figura 2.41 Fenómenos presentes durante los ensayos | 65 |
| Figura 2.42 Operación de prototipo de una tapa quemador..... | 65 |
| Figura 2.43 Tubería de distribución de gas..... | 67 |
| Figura 2.44 Detalle de la posición de la tubería. | 67 |
| Figura 2.45 Detalle de la nueva posición de la tubería..... | 70 |
| Figura 3.1 Prototipo de cocina a GLP de alta eficiencia y bajo costo. | 73 |
| Figura 3.2 Operación del prototipo de cocina mejorada..... | 73 |
| Figura 4.1 Toma de datos de productos de combustión. | 81 |
| Figura 4.2 Prototipo de cocina a GLP de alta eficiencia y bajo costo. | 81 |
| Figura 5.1 Deterioro de la pintura luego del primer uso..... | 88 |
| Figura 5.2 Desprendimiento de la pintura de la parrilla luego del primer uso. | 88 |
| Figura 5.3 Prototipo de cocina a GLP de alta eficiencia y bajo costo. | 90 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1.1. Tabla de clasificación de los quemadores | 8 |
| Tabla 1.2 Modelos de cocinas representativas a ensayar..... | 10 |
| Tabla 1.3 Tabla de consumo nominal según tipo quemador | 13 |
| Tabla 1.4 Consumo reducido según tipo de quemador..... | 15 |
| Tabla 1.5 Contenido de CO en los productos de la combustión neutra..... | 17 |
| Tabla 1.6 Porcentaje de CO ₂ (por volumen) en los productos de combustión neutra con gases comerciales..... | 17 |
| Tabla 1.7 datos técnicos de los componentes de banco de ensayo | 19 |
| Tabla 1.8 Dimensiones características de la cocina CL-01 | 25 |
| Tabla 1.9 Dimensiones características del sistema de combustión de la cocina CL-01 . | 25 |
| Tabla 1.10 Consumo de la cocina CL-01 | 26 |
| Tabla 1.11 Rendimiento de la cocina CL-01 | 26 |
| Tabla 1.12 Combustión de la cocina CL-01 | 26 |
| Tabla 1.13 Dimensiones características de la cocina CA-01 | 27 |
| Tabla 1.14 Dimensiones características del sistema de combustión de la cocina CA-01 | 27 |
| Tabla 1.15 Consumo de la cocina CA-01 | 27 |
| Tabla 1.16 Rendimiento de la cocina CA-01..... | 28 |
| Tabla 1.17 Combustión de la cocina CA-01 | 28 |
| Tabla 1.18 Dimensiones características de la cocina CE-01 | 28 |
| Tabla 1.19 Dimensiones características del sistema de combustión de la cocina CE-01 | 28 |
| Tabla 1.20 Consumo de la cocina CE-01 | 29 |
| Tabla 1.21 Rendimiento de la cocina CE-01 | 29 |

| | |
|--|----|
| Tabla 1.22 Combustión de la cocina CE-01 | 29 |
| Tabla 1.23 Dimensiones características de la cocina CE-02 | 29 |
| Tabla 1.24 Dimensiones características del sistema de combustión de la cocina CE-0230 | |
| Tabla 1.25 Consumo de la cocina CE-02 | 30 |
| Tabla 1.26 Rendimiento de la cocina CE-02 | 30 |
| Tabla 1.27 Combustión de la cocina CE-02 | 30 |
| Tabla 2.1 Rendimiento de la cocina tipo anafe en función de la altura de la olla al quemador | 34 |
| Tabla 2.2 comparativa de eficiencia para cada parrilla | 36 |
| Tabla 2.3 Comparativa de temperaturas de soporte con distintos recubrimientos | 40 |
| Tabla 2.4 valores teóricos correspondientes a las distintas posiciones de la perilla..... | 47 |
| Tabla 2.5. Dimensionamiento de los mezcladores | 49 |
| Tabla 2.6 Efecto de los parámetros del quemador en los fenómenos de la combustión | 57 |
| Tabla 2.7 Comparativa de eficiencia para cada tipo de quemador | 57 |
| Tabla 2.8 Comparativa de rendimientos de las tapas de quemadores | 66 |
| Tabla 2.9 Comparativa de CON de las tapas de quemadores | 66 |
| Tabla 2.10. Geometría normalizada de tuberías de acero | 68 |
| Tabla 2.11 Velocidad del gas en la tubería para cada diámetro de tubería..... | 69 |
| Tabla 2.12 Caída de presión en la tubería para cada diámetro de tubería | 70 |
| Tabla 3.1 Características de la cocina prototipo | 72 |
| Tabla 3.2 Consumo de la cocina prototipo | 74 |
| Tabla 3.3 Rendimiento de la cocina prototipo | 74 |
| Tabla 3.4 Comparativa de la cocina de fábrica vs prototipo. | 76 |
| Tabla 3.5 Consumo de GLP al año por familia | 76 |
| Tabla 3.6 Consumo de GLP al año a nivel nacional..... | 77 |

| | |
|--|----|
| Tabla 4.1 Características de la cocina prototipo | 81 |
| Tabla 4.2 Emisiones de la cocina prototipo | 82 |
| Tabla 4.3 Cantidad de CO ₂ generados durante la operación de una cocina tipo anafe .. | 83 |
| Tabla 4.4 Cantidad de CO ₂ generados en un año por una familia | 84 |
| Tabla 4.5 Cantidad de CO ₂ generados en un año a nivel nacional | 84 |
| Tabla 4.6 Cantidad de CO generados en un año por una familia | 85 |
| Tabla 4.7 Cantidad de CO generados en un año a nivel nacional | 85 |
| Tabla 5.1 Costo de cocina tipo pintada | 86 |
| Tabla 5.2 Costo de cocina tipo enlozada | 87 |
| Tabla 5.3 Costo de cocina tipo inoxidable | 87 |
| Tabla 5.4 Costo del material del soporte (acero inoxidable) | 89 |
| Tabla 5.5 Costo del material de la parrilla | 89 |
| Tabla 5.6 Costo del material de la tubería | 90 |
| Tabla 5.7 Costo de cocina prototipo propuesta | 91 |

LISTA DE SIMBOLOS

| | |
|-----------------------------------|---|
| E_d | → Energía diaria |
| PCI | → Poder Calorífico inferior |
| m_b | → Masa del balón de gas, kg |
| D | → Duración de un balón de gas, días |
| η | → Rendimiento, % |
| GLP | → Gas licuado de petróleo |
| GN | → Gas natural |
| CE-01 | → Cocina Surge acero esmaltado |
| CE-02 | → Cocina Surge acero esmaltado |
| CL-01 | → Cocina Citecil enlozada |
| CA-01 | → Cocina Surge acero inoxidable (CA-01) |
| t_d | → Tiempo diario de cocción, minutos |
| P_n | → Potencia nominal del quemador, kW |
| f_n | → Flujo nominal de gas, m ³ /s |
| P_r | → Potencia reducida del quemador, kW |
| f_r | → Flujo reducido de gas, m ³ /s |
| P_t | → Potencia total de los quemadores, kW |
| F_t | → Flujo total de gas, m ³ /s |
| M | → masa de agua introducida en el recipiente, kg |
| C_p | → Calor específico del agua, kJ/kg*°C |
| T_f | → Temperatura final, °C |
| T_i | → Temperatura inicial, °C |
| t_e | → Tiempo de ensayo, minutos |
| CO _N | → Monóxido de carbono neutro, % |
| CO _{2N} | → Dióxido de carbono neutro calculado, % |
| CO _M /CO _{2M} | → Relación de CO y CO ₂ medidos, Adimensional |
| R | → Relación aire primario y el gas combustible, adimensional |
| S | → Gravedad específica del gas combustible, |
| A_g | → Área de la garganta del mezclador, |
| A_i | → Área del inyector, |
| d_g | → Diámetro de la garganta del mezclador, |
| d_i | → Diámetro del inyector, |
| RAC | → Relación aire combustible |
| RAC _{em} | → Relación aire combustible estequiométrico |
| \dot{m}_{ae} | → Flujo másico de aire estequiométrico |
| \dot{m}_g | → Flujo másico de gas combustible, |
| \dot{m}_{ap} | → Flujo másico de aire primario, |
| \dot{V}_g | → Flujo volumétrico de gas combustible, |
| ρ_a | → Densidad del aire, |
| ρ_g | → Densidad del gas combustible, |

INTRODUCCIÓN

La cocina doméstica es uno de los artefactos más empleados a nivel mundial para la preparación de alimentos; su tecnología ha evolucionado de acuerdo a las necesidades sociales, económicas y ambientales, desde las grandes cocinas a leña y de hierro fundido hasta las cocinas de hoy, de acero inoxidable o acero esmaltado, con un quemador atmosférico a gas, en su gran mayoría. A pesar de todo este cambio, un elemento se ha mantenido predominantemente: la combustión para la obtención de energía.

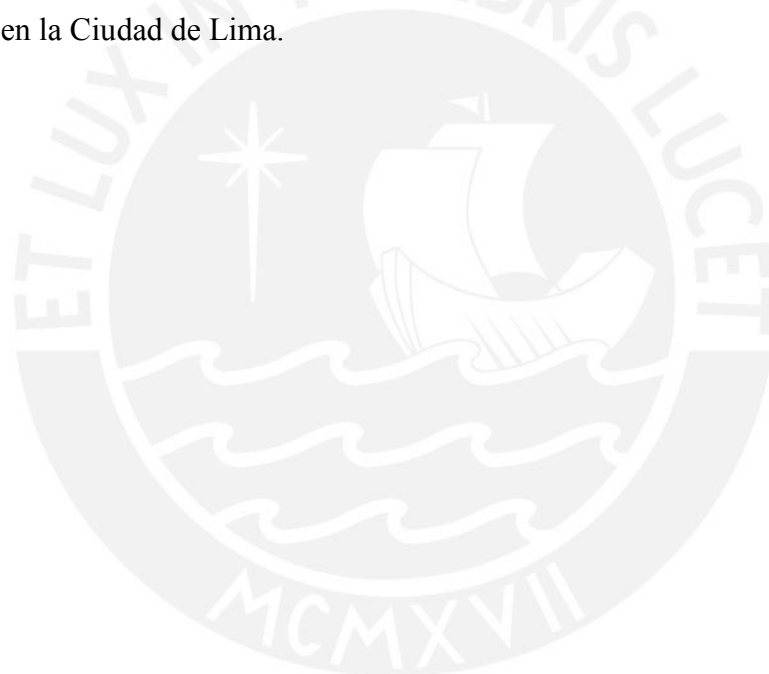
Actualmente, existen avances y estudios relacionados con las cocinas domésticas, pero estos están íntimamente ligados a las necesidades de quienes las desarrollan. Es por ello que, dependiendo del lugar de operación, las cocinas anafe no se desempeñan de la misma manera, afectando considerablemente su rendimiento.

En Latinoamérica existen varios países que desarrollan nuevos diseños de quemadores y cocinas para cumplir con las necesidades propias de su medio. La gran desventaja de las cocinas anafe que se comercializan en el Perú es que en su fabricación no se ha aplicado la ingeniería necesaria para cumplir con las necesidades propias de la localidad pues al tratarse de un artefacto de uso común que implica un bajo costo de producción, los fabricantes se han limitado a copiar diseños, a esto se suma la falta de normas relacionadas con los artefactos de cocción domésticos que puedan garantizar las características mínimas de funcionamiento de las cocinas a gas, como si sucede en otros países.

Según estudios realizados en el año 2010, por la PUCP y el SAEA, las cocinas tipo anafe fabricadas localmente registraron eficiencias entre 21% y 23%, en pruebas de laboratorio en la Ciudad de Lima, lo cual evidencia la poca importancia o, peor aún, desconocimiento de los fabricantes y usuarios acerca de las características de sus productos.

Es evidente que un alto consumo de combustible es consecuencia de una baja eficiencia térmica de la cocina al suministrarse a los alimentos la energía necesaria para su correcta cocción, y esto afecta directamente a la economía familiar, especialmente a las familias de escasos recursos que emplean este tipo de cocinas. Basta tomar como referencia que la mínima eficiencia térmica en algunos países latinoamericanos es de 58%.

Por todo esto, se propone un prototipo de cocina doméstica económica que cumpla con las normas internacionales y cuente con las características mínimas para su correcto funcionamiento en la Ciudad de Lima.



Objetivos

Objetivo general

Proponer un diseño de prototipo de cocina a gas licuado de petróleo (GLP) de dos hornillas de 1,5 kW cada una para uso doméstico de bajo costo.

Objetivos específicos

- Identificar las necesidades que deben cubrir las cocinas domesticas para familias de escasos recursos en Lima.
 - Número de personas
 - Uso de la cocina
 - Tamaño de olla
- Definir las características de las cocinas domesticas (tipo anafe o de mesa).
 - Componente
 - Variantes (materiales, diseño)
 - Precios
- Identificar las características de operación (normas).
 - Constructivas
 - Energéticas
 - Ambientales
- Realizar el rediseño (de ingeniería básica) de los puntos determinados en el punto anterior.
 - Estructural (constructivo)
 - Energético
 - Materiales
 - Seguridad
- Probar el prototipo y verificar el cumplimiento de este respecto de la normal.
- Calcular el costo de fabricación del prototipo.

Alcances

Con el desarrollo del proyecto propuesto se obtendrá: un aumento en la eficiencia de las cocinas tipo anafe que operan con gas licuado de petróleo (GLP) para la Ciudad de Lima; un prototipo que cumpla con los requerimientos que piden las normas internacionales; y que sea de bajo costo. De producir un aumento de la eficiencia de 23% a 55% (valor mínimo de eficiencia recomendado) se obtendrá un ahorro de hasta 60% de GLP empleado por una familia promedio, es decir, un balón de gas típico podría rendir 10 días más que el promedio actual. Introducir este producto implicaría un cambio en los métodos de cocción precarios empleados hasta el día de hoy, como el uso de carbón o leña, reduciendo la exposición a los productos de combustión de estos elementos los cuales representan un gran riesgo para la salud. También se considera una mejora ambiental, pues al emplear menor cantidad de gas y de manera más eficiente en la cocción, se disminuye la generación de gases efecto invernadero y otros gases contaminantes. Finalmente, a todo ello se suma la adquisición de conocimientos y desarrollo tecnológico referidos a las cocinas domésticas.

Metodología

En primer lugar, se estableció el consumo energético promedio por familia, las características de operación y las expectativas de funcionamiento. Así también, se delimitaron las características de las zonas de empleo de las cocinas anafe.

Después se caracterizará las cocinas tipo anafe que se encuentran en el mercado, su construcción, funcionamiento y consideraciones tomadas por los fabricantes.

Luego se establecerá los parámetros de diseño, energéticos y constructivos, tomando como referencia normas internacionales, en particular se usarán como guía la norma chilena de artefactos de uso doméstico para cocinar, NCh927/1.Of97, modificada el 2001 y la norma técnica ecuatoriana, NTE INEN 2 259:2000, estas proporcionarán las pautas y técnicas de ensayos que se aplicaran para las cocinas, Una vez obtenido los resultados de las pruebas realizadas en las cocinas, se comparará con los valores que recomiendan las normas como mínimos necesarios para el correcto funcionamiento de dichos aparatos. A continuación de ello, se realizará un análisis y descripción de los puntos a mejorar. Ya definidos los aspectos en los que la cocina tipo anafe presenta un bajo desempeño se procede a realizar el rediseño de ingeniería básica para obtener las mejores características. Este rediseño se realizará por cada elemento que constituye la cocina tipo anafe: parrilla, soporte (cuerpo), quemador y tubería. Una vez construido el prototipo se volverán a realizar las pruebas correspondientes.

CAPÍTULO 1.

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA COCINA

1.1. Descripción técnica de la cocina tipo anafe

En el país existen empresas dedicadas a la fabricación de cocinas de sobremesa entre ellas están:

- Surge 
- Fadicc 
- Citecil 
- Superior 

También podemos mencionar otras como Yefico y Rowal, esta última es un fabricante autorizado de la marca Surge.

En cuanto al precio de estos artefactos encontramos que están valorizados desde los 30-35 soles hasta los 70 soles.

1.1.1. Componentes

Para familiarizarse con los términos empleados a continuación se definen los componentes de las cocinas tipo anafe. Como se presenta en la Figura 1.1, los elementos que la conforman son los siguientes:

1. Soporte (estructura)
2. mezclador
3. Quemador (cabeza)
4. Parrilla
5. Tubería de distribución
6. Válvula de regulación (regulador-inyector)



Figura 1.1 Partes de la cocina tipo anafe

El soporte o estructura es el elemento que alberga todos los demás elementos del artefacto.

El mezclador es el componente en el cual se realiza la mezcla del gas (GLP) y el aire circundante.

El quemador, es el elemento por donde sale la mezcla gas-aire y se forma la llama. En algunos modelos se puede componer de una única pieza con el mezclador.

La parrilla se coloca generalmente sobre el soporte y es donde reposa los recipientes de cocción.

Por la tubería de distribución circula el gas de trabajo, esta tubería se conecta por un extremo con la manguera del balón de gas y por el otro a las válvulas de regulación.

Las válvulas de regulación son los elementos que limitan el paso del gas y con ellas se aumenta o reduce el flujo de gas. En la válvula se encuentra el inyector, por el cual sale el chorro de gas y es mezclado con el aire primario.

El quemador, como sistema, es la parte principal de la cocina anafe y mediante este elemento se obtiene la energía para calentar o cocinar los alimentos. Por ello es importante distinguir algunos tipos de quemadores. Como se muestra en la Tabla 1.1 el autor clasifica a los quemadores de la siguiente manera:

Tabla 1.1. Tabla de clasificación de los quemadores

| 1º Cifra Modo de formación de la mezcla aire-gas | 2º Cifra Presión del gas Y del aire | 3º Cifra Características del derrame de la mezcla previa sin quemar, o del aire y gas por orificios separados | 4º Cifra Estabilización de la llama | 5º Cifra Localización de la combustión | 6º Cifra Precalentamiento del aire de combustión. |
|---|---|--|--|--|--|
| 1 Mezcla previa total por inducción | 1 Gas a baja presión (hasta 500 mm); aire a presión atmosférica. | 1 Derrame por orificios sencillos | 1 Por llamas auxiliares. | 1 Llamas libres. | 1 Quemador precalentamiento de aire. |
| 2 Mezcla previa total por cámara de mezcla. | 2 Gas a baja presión (hasta 500 mm); aire a presión. | 2 Derrame paralelo | 2 Por recirculación de gases calientes (turbulencia libre) | 2 En pieza refractaria, generalmente cónica. | 2 Quemador pudiendo funcionar con aire precalentado |
| 3 Mezcla previa total antes del quemador. | 3 Gas a alta presión (sobre 500 mm); aire a presión atmosférica. | 3 Derrame convergente. | 3 Por un obstáculo (turbulencia de obstáculo) | 3 En contacto con refractario o de masa de granos de refractarios. | 3 Quemador funcionando necesariamente con aire caliente. |
| 4 Mezcla previa parcial por modulación. | 4 Gas a alta presión (sobre 500 mm); aire a presión. | 4 Derrame giratorio. | 4 Por una superficie refractaria | 4 Sobre superficie refractaria. | |
| 5 Mezcla previa parcial por cámara de mezcla | 5 Gas reducido sensiblemente a la presión atmosférica; aire a presión | 5 A través de refractario poroso. | 0 Llamas libres sin ningún artificio de estabilización. | 5 En túnel de combustión refractaria. | |
| 6 Mezcla previa parcial antes del quemador | 6 Gas reducido a la presión atmosférica. | 6 Sobre rotor giratorio. | | 6 En tubo metálico o cerámico. | |
| 7 sin mezcla previa. | 7 Mezcla aire-gas a presión. | | | 7 En contacto con masa catalítica. | |

Fuente: https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2011/375/51405/1/Documento9.pdf

Como requerimiento para el desarrollo de la cocina tipo anafe se emplearán los quemadores de inducción atmosférica (quemadores atmosféricos), este tipo es el más empleado para cocinas.

Para entender un poco el funcionamiento de este componente se hará una breve descripción del principio de operación.

En el curso “Especificaciones técnicas CONAIF-SEDIGAS para la certificación de instaladores de gas” parte 8. Quemadores se definen a los quemadores atmosféricos a aquellos en los que el aire se toma del ambiente que los rodea, ésta toma de aire se realiza en dos etapas: en la primera el aire se mezcla con el gas antes de la combustión, al ingresar el gas por la tobera, y por el efecto venturi, se realiza una “absorción” de aire (aire primario), por una diferencia de presión, a través de las lumbreras, es en este momento donde se inicia el proceso de mezclado, el cual se homogeniza en la zona posterior. En la segunda etapa, el aire restante se aporta a la altura de la llama (aire secundario). Las llamas de estos quemadores, cuando están bien reguladas, son estables y de color azul, es decir la combustión es completa. Entre los defectos más comunes presentes en la cabeza del quemador están el desprendimiento de llama y retro llama. [1]

Como se puede observar en la Figura 1.2, en los quemadores atmosféricos intervienen básicamente las siguientes partes:

- Inyector (salida del gas)
- Zona de mezcla (lumbreras, Venturi, mezcla)
- Cabeza del quemador (orificios de salida y formación de llama)

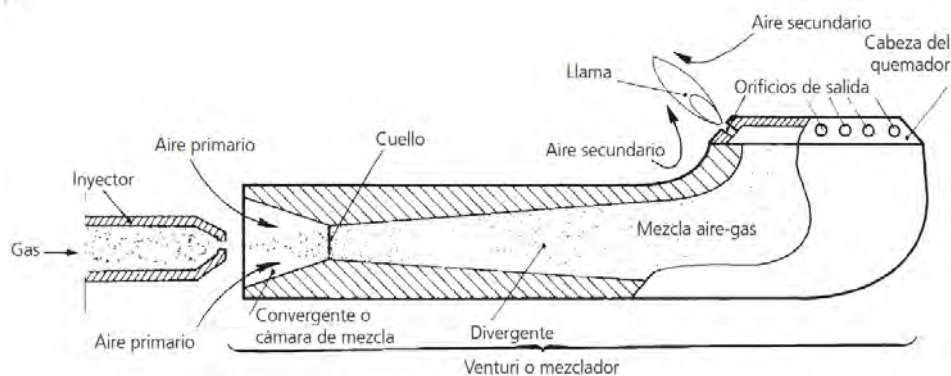


Figura 1.2 Partes de un quemador atmosférico

Algunos de los tipos de quemadores que se encuentran en el mercado son los siguientes:



Figura 1.3 Tipos de quemadores

Para la evaluación posterior se seleccionará algunas cocinas representativas que se distribuyen en el mercado nacional (Tabla 1.2).

Tabla 1.2 Modelos de cocinas representativas a ensayar

| Marca | Material/Recubrimiento | Hornilla | Precio |
|-----------------------|------------------------|---------------------|----------|
| Superior/surge | Acero inoxidable | 2 piezas (dentado) | 45 soles |
| Superior/surge/fadicc | pintado | 2 piezas (dentado) | 35 soles |
| Citecil/fadicc | enlozado | 2 piezas (agujeros) | 70 soles |
| Superior/surge/fadicc | pintado | 1 piezas (agujeros) | 35 soles |

1.2. Requerimientos de un hogar

En el siguiente apartado se establecerán las condiciones y supuestos bajo los cuales operan las cocinas en el país.

Las cocinas tipo anafe emplean, al igual que gran parte de las cocinas de uso doméstico, gas licuado de petróleo (GLP) sin embargo la demanda de gas natural está aumentando y ya se

dispone de éste en varias zonas del país. A pesar de tener muchos beneficios la distribución del gas natural es limitada, por ello se considerará el GLP como fuente de energía para las cocinas tipo anafe.

Los balones de GLP de 10 kg son los más empleados en los hogares para la cocción de alimentos, en promedio se emplea 1.1 balones al mes [2]

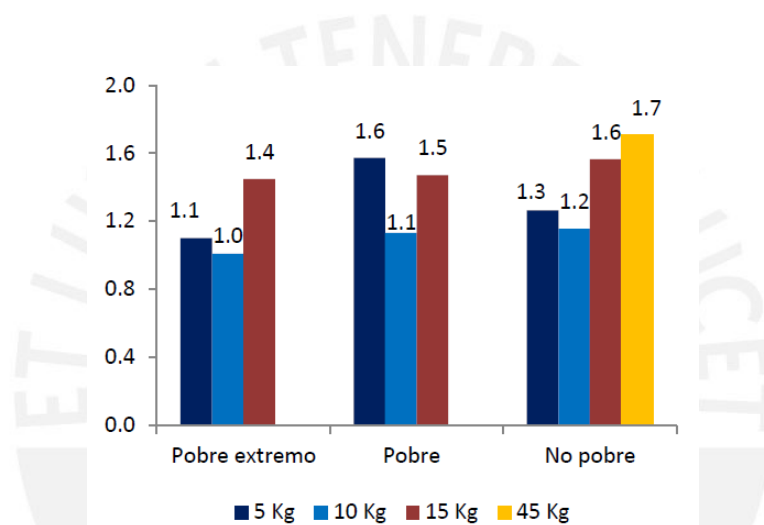


Figura 1.4 Consumo promedio de balones de GLP por nivel de pobreza [2]

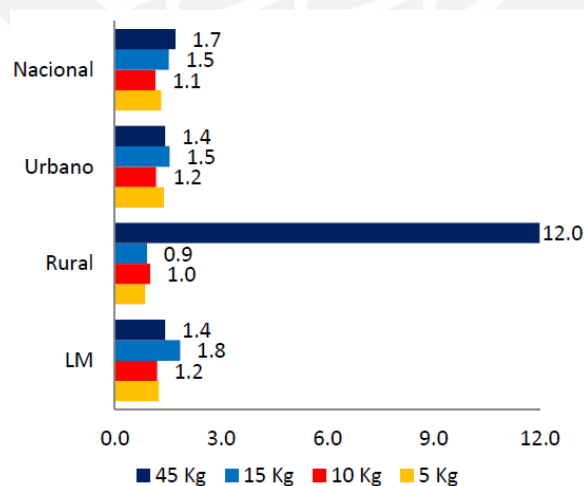


Figura 1.5 Consumo promedio mensual de balones de GLP (número de balones) [2]

Según información del área de SAE (Servicio de análisis energético) de la PUCP, la mayoría de las cocinas domésticas presentan aproximadamente de 1.5 kW (servicio de evaluación de cocinas). Por lo que se puede asumir que los 1.1 balones de GLP/mes son consumidos a esta potencia.

Ahora se determina la energía diaria mediante la ecuación (1-1) y el tiempo de cocción diario mediante la ecuación (1-2).

$$E_d = \frac{PCI * m_b}{D} \quad (1-1)$$

$$T_d = \frac{PCI * m_b}{2 * P * D} \quad (1-2)$$

$$E_d = \frac{46154 \frac{kJ}{kg} * 11kg}{30 \text{ días}} = 16923.13 \frac{kJ}{\text{día}}$$

$$T_d = \frac{46154 \frac{kJ}{kg} * 11kg}{2 * 1.5kW * 30 \text{ días}} = 1.566 \frac{hr}{\text{día}}$$

En el cálculo realizado se están considerando ambas hornillas operando en simultáneo.

Se concluye que una familia, para cocinar, demora en promedio 1.56 horas y consume 16923 kJ por día. Estos parámetros deben tenerse en cuenta al momento de presentar la cocina prototipo.

1.3. Condiciones de operación

En el país no existen normas que regulen la correcta operación de los artefactos de cocción que emplean combustible gaseoso. Por ello se va a emplear la norma chilena NCh927/1.Of97, modificada el 2001, como guía.

Según la clasificación de los gases de la norma NCh927/1.Of97, el prototipo operará bajo los gases de la tercera familia, gases licuados del petróleo (GLP). Cabe mencionar que podría emplearse con gases de la segunda familia, gases naturales (GN), cambiando los componentes necesarios. Por ello, el artefacto se considerará de categoría II, ya que puede emplear gases de la segunda o tercera familia.

Los quemadores se clasifican según su consumo nominal, como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 1.3 Tabla de consumo nominal según tipo quemador

| Tipo de quemador | Consumo nominal (C_n) del quemador, para todos los gases, kW | |
|--|--|------------------------|
| | Con PCS | Con PCI |
| 1) Quemadores auxiliares | $0,23 \leq C_n < 1,16$ | $0,21 \leq C_n < 1,05$ |
| 2) Quemadores principales | | |
| 2.1) Quemador semirrápido (lento) | $1,16 \leq C_n < 2,3$ | $1,05 \leq C_n < 2,09$ |
| 2.2) Quemador rápido | $2,3 \leq C_n < 3,5$ | $2,09 \leq C_n < 3,14$ |
| 2.3) Quemador ultrarrápido (intensivo) | $3,5 \leq C_n$ | $3,14 \leq C_n$ |

Como requisito del presente documento, los quemadores deben ser de una potencia nominal de 1.5 kW, es decir, se consideran quemadores semirrápidos admitiéndose una variación de $\pm 15\%$ del C_n .

Además de la delimitación de potencia y rango de trabajo, las condiciones se agrupan en los siguientes apartados:

1.3.1. Características de diseño y construcción

Materiales: Los materiales empleados deben soportar las acciones mecánicas, químicas y térmicas a las que se sometería durante su funcionamiento.

Ensamble y robustez:

- La construcción del artefacto debe ser tal que no evidencie:
 - Desplazamiento de partes y piezas
 - Deformaciones
 - Deterioros
- Que entorpezcan el buen funcionamiento en condiciones normales de trabajo.
- Al aplicarse un peso, cuya masa es equivalente al número de quemadores multiplicado por 25, sobre la parte superior del artefacto no se presente rotura o deformación superior a 1mm (ensayo 7.2.1.2).

Condiciones particulares:

- Los componentes de la cubierta deben ser diseñados de manera que se evidencie el armado incorrecto.
- Los recipientes deben encontrar el número suficiente de puntos de apoyo para que descansen de manera estable sobre la parrilla.
- Debe permitirse usar un recipiente de 100 mm de diámetro.
- La distancia entre centros de los quemadores debe ser al menos de 18 centímetros y la distancia desde el centro del quemador a un lado del anafe mínimo 10 centímetros.

- La parrilla debe garantizar una distancia constante entre el fondo del recipiente y la llama.
- Se debe presentar un dispositivo que, frente a un eventual desbordamiento de líquidos, no perjudique el funcionamiento de los quemadores.

1.3.2. Características de funcionamiento

Hermeticidad: La fuga de gas no debe exceder de $70\text{cm}^3/\text{h}$ para las condiciones del ensayo

7.3.1.1 (1 y 2)

Obtención de los consumos:

- Cada quemador, por separado, debe entregar el consumo nominal indicado por el fabricante para las condiciones de ensayo 7.3.2.1.1.
- El consumo reducido de los quemadores, para las condiciones del ensayo 7.3.2.2 debe seguir los siguientes rangos:

Tabla 1.4 Consumo reducido según tipo de quemador

| Tipo de quemador | Consumo reducido |
|------------------------------|------------------------|
| Auxiliar | $\leq 1/3 C_n$ |
| con PCS | $\leq 0,29 \text{ kW}$ |
| con PCI | $\leq 0,26 \text{ kW}$ |
| Principal | $\leq 1/3 C_n$ |
| Semirrápido | $\leq 1/3 C_n$ |
| con PCS | $\leq 0,50 \text{ kW}$ |
| con PCI | $\leq 0,44 \text{ kW}$ |
| Rápido y ultrarrápido | $\leq 1/3 C_n$ |

Dispositivos de seguridad del encendido:

- El tiempo de inercia de encendido no debe superar los 30 segundos si hay intervención directa del usuario, caso contrario no puede ser mayor a 60 segundos. Para las condiciones del ensayo 7.3.3.

- El tiempo de inercia de apagado no debe superar los 90 segundos para quemadores de cubierta.

Calentamiento:

- En la zona de presión de los órganos susceptibles a ser manipulados, para las condiciones del ensayo 7.3.5, la temperatura no debe sobrepasar la temperatura ambiente en más de:
 - 35°C metálicos
 - 45°C cerámicos
 - 60°C plásticos
- La temperatura de la parte frontal y lateral del artefacto no debe superar la temperatura ambiental en más de 100°C.

Consumo total del artefacto:

- El consumo total del artefacto en máxima apertura no debe ser inferior en más del 10% de la suma de consumos parciales.

Requisitos particulares de los quemadores de cubierta:

- Para las condiciones del ensayo 7.3.6.2:
 - A consumo total - 0.1 (% CO_N)
 - A $\frac{1}{2}$ consumo total - 0.1 (% CO_N)
 - A gas limite combustión incompleta - 0.2 (% CO_N)

Tabla 1.5 Contenido de CO en los productos de la combustión neutra

| Ensayo número | Quemadores en funcionamiento | Naturaleza de gas utilizado | Posición dispositivo de mando | % (CO) _N máximo |
|---------------|--|-------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 1 | Funcionamiento individual de cada quemador | Cada uno de los gases de referencia | Consumo total | 0,14 |
| 2 | Funcionamiento individual de cada quemador | Gas límite de combustión incompleta | Consumo total | 0,25 |
| 3 | Funcionamiento simultáneo de todos los quemadores de la cubierta y horno | Cada uno de los gases de referencia | Consumo total | 0,25 |

Tabla 1.6 Porcentaje de CO₂ (por volumen) en los productos de combustión neutra con gases comerciales

| Denominación del gas | G30 | G31 |
|-----------------------------------|------|------|
| (CO ₂) _N % | 14,0 | 13,7 |

Donde: G30 = Butano, G31 = Propano

Datos estimados, sujetos a verificación (ver nota 8).

- El rendimiento debe ser mayor o igual a 52% con PCS o 58% con PCI para las condiciones del ensayo 7.3.6.3.1.

1.4. Protocolos de ensayos

Los protocolos se encuentran completamente definidos en la Norma Técnica chilena (NCh927/1.Of97, modificada el 2001), a continuación, se presentarán los protocolos que se emplearán en el desarrollo de este documento. Todos los ensayos se realizarán con un balón de gas de 10 kg de GLP (proveído por SOLGAS). El rango de trabajo está entre 22 a 33 mbar (presión manométrica) pero en nuestro país se emplea 28mbar como presión nominal, por ello se regulará la presión a 28 mbar.

1.4.1. Instrumentación

Para llevar a cabo los ensayos correspondientes para el análisis de las cocinas se emplearán los siguientes instrumentos:

- Cronómetro digital, marca TRACEABLE
- Balanza digital, marca OHAUS
- Ollas normalizadas #22 y #20
- Termocupla tipo K y Display marca LUTRON modelo TM-946
- Anlizador de gases, marca KANE modelo KANE9206 QUINTOX
- Banco de ensayo



Figura 1.6 banco de ensayos

Tabla 1.7 datos técnicos de los componentes de banco de ensayo

| Indicador/Transmisor | Rango | Precisión | Condiciones |
|--|-----------------|---|---|
| Temperatura | -20 a 80 °C | +/- 0.3°C +/- 0.4°C | 0 a 70°C Restante |
| Humedad | 0 a 100 | +/- 2.0% +/- 2.5% | 10 a 90% RH Restante |
| Presión | 600 a 1100 mbar | +/- 0.5 mbar @25°C | |
| Termocupla tipo K de contacto | 0 a 400 °C | Norma IEC584-Clase 2 | |
| Termocupla tipo K para indicador | 0 a 500 °C | Norma IEC584-Clase 2 | |
| Sensor de temperatura PT100 | -70 a 200 °C | Norma IEC751-Clase B | Coef temp sensor: 0.00385 (ohm/ohm/°C) |
| Termocupla tipo S | 0 a 1600 °C | Norma IEC584-Clase 2 | Hilo rojo=Negativo Hilo negro= Positivo |
| Medidor transmisor de flujo de propano | 0 a 50 SLPM | +/- 0.8% de la lectura +/- 0.2% full | Max presión lineal=145 PSI Temp operación= -10 a 50 °C |
| Transmisor de presión relativa | 0 a 5 bar | <+/- 0.5/0.3% del spam de medida | 8 a 33 vcc Temp trabajo= -40 a 85°C |

1.4.2. Consumo nominal

- Se enciende un quemador de la cocina anafe y se coloca la perilla en la posición de consumo máximo, máxima apertura (potencia máxima), manteniendo la presión de alimentación en su valor nominal (28 mbar).
- se mide el consumo de gas.

La potencia se calcula mediante la siguiente formula:

$$P_n = PCI * f_n \quad (1-3)$$

Dónde:

P_n = Potencia (kW)

f_n = Flujo de gas en máxima apertura (m³/s)

PCI = Poder calorífico inferior (kJ/m³)

1.4.3. Consumo reducido

- Se enciende un quemador de la cocina anafe y se coloca la perilla en la posición de consumo reducido, (potencia mínima), manteniendo la presión de alimentación en su valor nominal (28mbar).
- se mide el consumo de gas.

La potencia se calcula mediante la siguiente formula:

$$P_r = PCI * f_r \quad (1-4)$$

Donde:

P_r = Potencia reducida (kW)

f_r = Flujo de gas reducido (m³/s)

PCI = Poder calorífico inferior (kJ/m³)

1.4.4. Consumo total

- Se encienden los 2 quemadores de la cocina y se colocan las perillas en la posición de consumo máximo, máxima apertura (potencia máxima), manteniendo la presión de alimentación en su valor nominal (28mbar).
- se mide del consumo de gas.

La potencia se calcula mediante la siguiente formula:

$$P_t = PCI * f_t \quad (1-5)$$

Donde:

P_t = Potencia total (kW)

f_t = Flujo de gas total (m^3/s)

PCI = Poder calorífico inferior (kJ/m^3)

1.4.5. Calentamiento

- Se coloca una olla normalizada #22 con 3.7 kg de agua sobre cada quemador.
- Se encienden los quemadores con la perilla en la posición de consumo máximo.
- Se deja operando durando 15 minutos.
- Luego del ensayo se toma la medida de la temperatura máxima en todos los órganos susceptibles de ser manipulados.

1.4.6. Rendimiento

- Se coloca una olla normalizada #22 con 3.7 kg de agua y se deja operando la cocina durante 10 minutos.
- Se retira la olla #22 y se coloca la olla correspondiente para la potencia del quemador (ver Anexo 4).
- Se coloca el elemento sensible para la medición de la temperatura al centro del volumen de agua y se deja operando.
- La medida del consumo de gas y tiempo comienza en el instante en el cual la temperatura del agua alcanza los $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$
- La medida termina cuando alcanza los $(90 \pm 1)^\circ\text{C}$.
-

El rendimiento se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$\eta = M * C_p * \frac{(T_f - T_i)}{f_n * t_e * PCI} * 100 \quad (1-6)$$

Dónde:

η = Rendimiento térmico (%)

M = Masa de agua introducida en el recipiente (kg)

C_p = 4,186 (kJ/kgC°)

T_i = Temperatura inicial (°C)

T_f = Temperatura final (°C)

t_e = Tiempo de duración el ensayo (min)

f_n = Flujo de gas en máxima apertura (m³/min)

PCI = Poder calorífico inferior (kJ/m³)

1.4.7. Combustión

- Se coloca una olla normalizada #22 con 3.7 kg de agua.
- Se coloca el dispositivo de ensayo de la combustión de cada quemador individual indicado por la norma. (Anexo 2)
- Se toma medidas sucesivas de los productos de combustión y al momento de la ebullición.

El CO_N se calculara mediante la siguiente formula:

$$CO_N = CO_{2N} * \frac{CO_M}{CO_{2M}} \quad (1-7)$$

Dónde:

CO_N = monóxido de carbono neutro (%)

CO_{2N} = dióxido de carbono neutro calculado (%)

$\frac{CO_M}{CO_{2M}}$ = Relación de CO y CO_2 medidos en el ensayo

1.5. Evaluación (ensayos) del artefacto

Siguiendo las condiciones descritas previamente y empleando las técnicas de ensayo designadas en la norma ya antes mencionada, se procede a analizar las cocinas que se comercializan en el mercado nacional. Se determina la geométrica de estructura y parilla; consumos máximo, mínimo y total; y rendimiento. Para no extender el cálculo solo se presentará un ejemplo para la primera cocina.

1.5.1. Resultados

Como parte del desarrollo del presente documento se analizan los parámetros geométricos de cada una de las cocinas comerciales a evaluar. En la Figura 1.7 se muestran las dimensiones generales de una cocina tipo anafe.

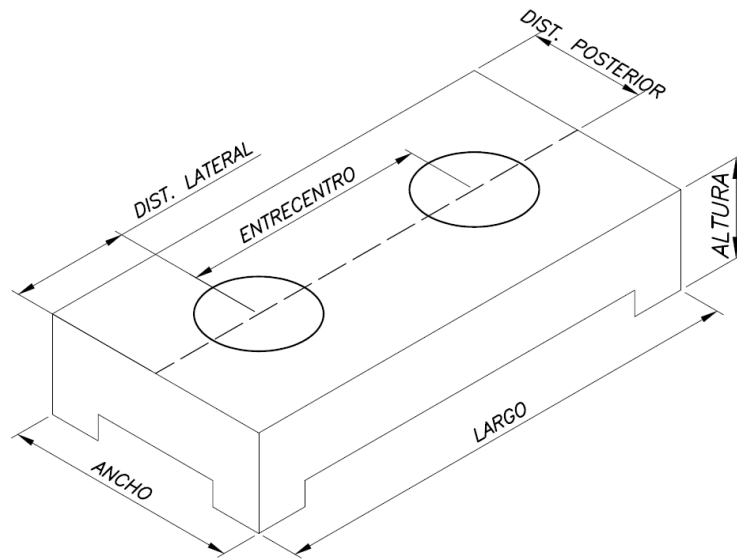


Figura 1.7 Parámetros geométricos de la cocina.

Además de la descripción geométrica y del análisis de consumos y rendimiento de las cocinas tipo anafe se propone también el análisis ambiental donde se analizan los principales contaminantes que presentan los productos de combustión de estos artefactos. En la Figura 1.8 se presenta un ejemplo de medición realizada en la cocina CL-01, como resultado de la medición se obtiene valores como la concentración de O_2 , CO, NO, NO_2 , NO_x , SO_2 , C_xH_y , entre otros.

```

O2  % .... 20.2
CO  PPM .... 77
Prs  NOT FITTED
EFF  % (G) 73.2
XAIR  O2 > 20%
CO2M  % ..... 0.4
CO/CO2 R 0.0192
PI    .... 1.92

NO   PPM ..... 1
NO2  PPM ..... 0
NOx  PPM ..... 1
SO2  PPM ..... 11
CxHy PPM..... 26

NETT .. C 19.2
FLUE  .. C 43.9
INLT  NOT FITTED
AMBIENT C 24.7
CL 01 D
  
```

Figura 1.8 Resultados del analizador de gases de la cocina (CL-01)



Figura 1.9 Cocina comercial citecil enlozada (CL-01)

Dimensiones:

Tabla 1.8 Dimensiones características de la cocina comercial CL-01

| Parámetro | Medida (mm) |
|--------------------------|-------------|
| Largo | 495 |
| Ancho | 287 |
| Altura | 92 |
| Altura parrilla | 19 |
| Entre centros | 250 |
| Distancia a los extremos | 125,135 |

Tabla 1.9 Dimensiones características del sistema de combustión de la cocina comercial CL-01

| Parámetro | Medida |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Altura a la parrilla | 18.3 mm |
| Diámetro del inyector | 0.67 mm |
| Distancia del inyector al mezclador | 12.4 mm |
| Área de salida del quemador | 87.96 mm ² |

Consumos:

El consumo nominal, reducido y total se calcula empleando la ecuación (1-3), la ecuación (1-4) y la ecuación (1-5), respectivamente.

$$P = 94251 \frac{kJ}{m^3} * 1.05 \frac{L}{min} = 1.65kW$$

Tabla 1.10 Consumo de la cocina comercial CL-01

| Consumo térmico | H1 (kW) | H2 (kW) |
|-----------------|---------|---------|
| Nominal | 1.65 | 1.63 |
| Reducido | 0.72 | 0.80 |
| Total | 2.98 | |

Rendimiento térmico:

El rendimiento se calcula empleando la ecuación (1-6)

$$\eta = \frac{2.8kg * 4.18 \frac{kJ}{kg * ^\circ C} * (90^\circ C - 25^\circ C)}{16.5min * 1.65kW} = 46.6\%$$

Tabla 1.11 Rendimiento de la cocina comercial CL-01

| Rendimiento térmico | H1 (%) | H2 (%) |
|---------------------|--------|--------|
| Nominal | 46.6 | 47 |

Combustión:

El contenido de CO_N se calcula empleando la ecuación (1-7)

Donde el valor de CO_{2N} se determina a partir de la tabla presente en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 259:2000.

$$CO_N = 13.79 * 0.0192 = 0.265$$

Tabla 1.12 Combustión de la cocina comercial CL-01

| Contenido CO_N | H1 (%) | H2 (%) |
|------------------|--------|--------|
| Nominal | 0.283 | 0.265 |



Figura 1.10 Cocina comercial surge acero inoxidable (CA-01)

Dimensiones:

Tabla 1.13 Dimensiones características de la cocina comercial CA-01

| Parámetro | Medida (mm) |
|---------------------------------|--------------------|
| Largo | 491 mm |
| Ancho | 279 mm |
| Altura | 95 mm |
| Altura parrilla | 16 mm |
| Entre centros | 247 mm |
| Distancia a los extremos | 125,130 mm |

Tabla 1.14 Dimensiones características del sistema de combustión de la cocina comercial CA-01

| Parámetro | Medida |
|--|------------------------|
| Altura a la parrilla | 15 mm |
| Diámetro del inyector | 0.57 mm |
| Distancia del inyector al mezclador | 15 mm |
| Área de salida del quemador | 153.75 mm ² |

Consumos:

Tabla 1.15 Consumo de la cocina comercial CA-01

| Consumo térmico | H1 (kW) | H2 (kW) |
|------------------------|----------------|----------------|
| Nominal | 1.18 | 1.13 |
| Reducido | 0.39 | 0.67 |
| Total | 2.25 | |

Rendimiento térmico:

Tabla 1.16 Rendimiento de la cocina comercial CA-01

| rendimiento térmico | H1 (%) | H2 (%) |
|---------------------|--------|--------|
| Nominal | 53 | 56 |

Combustión:

Tabla 1.17 Combustión de la cocina comercial CA-01

| Contenido CO_N | H1 (%) | H2 (%) |
|------------------|--------|--------|
| Nominal | 0.11 | 0.108 |



Figura 1.11 Cocina comercial surge acero esmaltado (CE-01)

Dimensiones:

Tabla 1.18 Dimensiones características de la cocina comercial CE-01

| parámetro | Medida (mm) |
|--------------------------|-------------|
| Largo | 492 mm |
| Ancho | 279 mm |
| Altura | 95 mm |
| Altura parrilla | 17 mm |
| Entre centros | 250 mm |
| Distancia a los extremos | 125,135 mm |

Tabla 1.19 Dimensiones características del sistema de combustión de la cocina comercial CE-01

| Parámetro | Medida |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Altura a la parrilla | 18 mm |
| Diámetro del inyector | 0.62 mm |
| Distancia del inyector al mezclador | 15 mm |
| Área de salida del quemador | 103.5 mm ² |

Tabla 1.20 Consumo de la cocina comercial CE-01

| Consumo térmico | H1 (kW) | H2 (kW) |
|-----------------|---------|---------|
| Nominal | 1.11 | 1.40 |
| Reducido | 0.73 | 0.85 |
| Total | 2.44 | |

Rendimiento térmico:

Tabla 1.21 Rendimiento de la cocina comercial CE-01

| rendimiento térmico | H1 (%) | H2 (%) |
|---------------------|--------|--------|
| Nominal | 63 | 50 |

Combustión:

Tabla 1.22 Combustión de la cocina comercial CE-01

| Contenido CO_N | H1 (%) | H2 (%) |
|------------------|--------|--------|
| Nominal | 0.123 | 0.181 |



Figura 1.12 Cocina comercial surge acero esmaltado (CE-02)

Dimensiones:

Tabla 1.23 Dimensiones características de la cocina comercial CE-02

| Parámetro | Medida (mm) |
|--------------------------|-------------|
| Largo | 458 mm |
| Ancho | 275 mm |
| Altura | 82 mm |
| Altura parrilla | 14 mm |
| Entre centros | 255 mm |
| Distancia a los extremos | 105,135 mm |

Tabla 1.24 Dimensiones características del sistema de combustión de la cocina comercial CE-02

| Parámetro | Medida |
|-------------------------------------|---------------------|
| Altura a la parrilla | 12.6 mm |
| Diámetro del inyector | 0.62 mm |
| Distancia del inyector al mezclador | 11.5 mm |
| Área de salida del quemador | 171 mm ² |

Tabla 1.25 Consumo de la cocina comercial CE-02

| Consumo térmico | H1 (kW) | H2 (kW) |
|-----------------|---------|---------|
| Nominal | 1.43 | 1.40 |
| Reducido | 0.83 | 0.99 |
| Total | 2.56 | |

Rendimiento térmico:

Tabla 1.26 Rendimiento de la cocina comercial CE-02

| Rendimiento térmico | H1 (%) | H2 (%) |
|---------------------|--------|--------|
| Nominal | 49 | 51 |

Combustión:

Tabla 1.27 Combustión de la cocina comercial CE-02

| Contenido CO_N | H1 (%) | H2 (%) |
|------------------|--------|--------|
| Nominal | 0.041 | 0.039 |

Los resultados indican que, energéticamente, las cocinas evaluadas están por debajo de los límites que exige la norma técnica NCh927/1.Of97. Los modelos CL-01, CE-01 y CE-02 presentan un consumo entre 1.275 y 1.725 kW, sin embargo, ninguno supera el 53% de rendimiento, además, a excepción del modelo CE-02, las emisiones de CO_N superan hasta en 2.83 veces el límite máximo. Esto demuestra que las cocinas anafe que se comercializan a nivel nacional no cuentan con las características mínimas exigidas internacionalmente. Por los resultados obtenidos, en el capítulo siguiente se propondrá homogenizar el consumo (potencia), aumentar la eficiencia y disminuir las emisiones, y sin dejar de considerar un bajo costo.

CAPÍTULO 2.

DISEÑO BÁSICO DE LA COCINA

Como ya se mostró, existen características en las que las cocinas tipo anafe que se venden a nivel nacional difieren de las recomendadas por las normas internacionales, por ello se tiene que implementar cambios o proponer alternativas para mejorar su rendimiento y obtener un artefacto que sea competitivo con las cocinas internacionales. En el presente capítulo se desarrollará y evaluará cada componente y, finalmente, proponer un prototipo donde se definirá las características básicas para las cocinas tipo anafe.

2.1. Parrilla

Para caracterizar la parrilla es necesario determinar qué factores son relevantes para optimizarla. A primera instancia, y por lo visto en el mercado nacional, los parámetros a evaluar son los siguientes: el material, la geometría y el recubrimiento.

La mayoría de cocinas tipo anafe presentan la configuración de la Figura 2.1. Esta configuración presenta un patrón rectangular fabricado con varillas rectas y semi circulares de acero las cuales asemejan la forma de las ollas o recipientes a colocar sobre la parrilla.

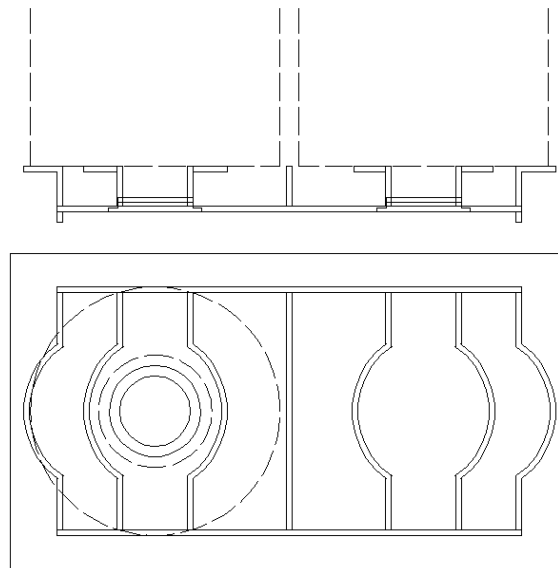


Figura 2.1 Configuración inicial (P_0) de la cocina con olla #22

En la Figura 2.2. se muestra cómo opera una cocina tipo anafe y también se evidencia que la parrilla intercepta la llama. Para el diseño de la parrilla se asume que al interceptar la llama se produce una pérdida de calor por este componente y que es no es aprovechado para la cocción de alimentos.



Figura 2.2 Operación de cocina con parrilla de fábrica

2.1.1. Dimensionamiento

Para definir las características geométricas de la parrilla es importante tener presente el diseño o patrón que se emplea para la fabricación, y cómo interactúan la parrilla, la llama del quemador y el recipiente de cocción.

La primera variable que se debe tomar en cuenta es la distancia entre la llama y la base del recipiente de cocción. Para ello se realizaron ensayos de eficiencia en función de la altura de la parrilla. Los resultados se presentan a continuación:

- Evaluación de la eficiencia en función de la altura.
- Evaluación de la eficiencia en función del diseño de la parrilla.
- El análisis y los ensayos realizados para determinar el efecto de la altura de la parrilla no se abordaron en este documento sin embargo se han tomado los resultados del trabajo de tesis “DISEÑO Y EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE MEZCLADORES AIRE-GAS COMBUSTIBLE PARA UN QUEMADOR DE PREMEZCLA DOMÉSTICO DE 1,7 kW”, Álvarez Olivares, José Alexis.

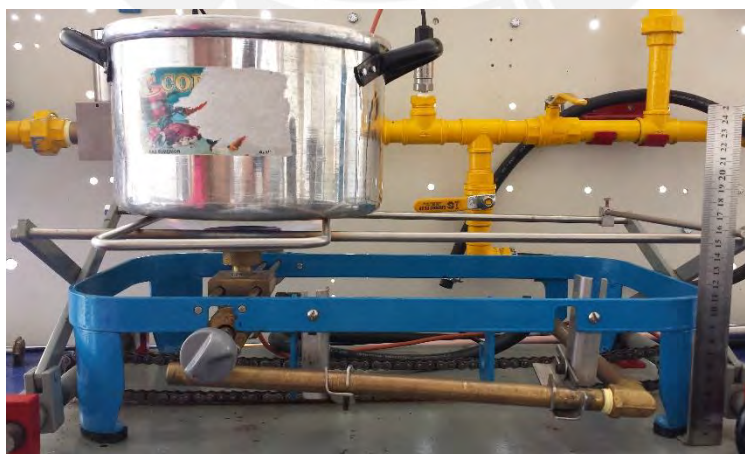


Figura 2.3 Prueba de eficiencia para distintas alturas de parrilla.

La Figura 2.3 muestra el equipo empleado para determinar la distancia idónea entre la cabeza del quemador y la olla, entre los elementos se encuentra la cocina modular, esta cocina

permite cambiar los inyectores, la cabeza del quemador y la tubería de distribución. También se tiene una parrilla regulable en altura.

Tabla 2.1 Rendimiento de la cocina tipo anafe en función de la altura de la olla al quemador

| Altura h (mm) | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Eficiencia (%) | 56.7 | 56.0 | 55.5 | 52.6 | 53.5 | 51.1 | 51.6 | 47.2 | 44.7 | 43.7 | 42.0 |

Fuente: (DISEÑO Y EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE MEZCLADORES AIRE-GAS COMBUSTIBLE PARA UN QUEMADOR DE PREMEZCLA DOMÉSTICO DE 1,7 kW, Álvarez Olivares, José Alexis)

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Tabla 2.1, se determinó que la base de la olla debe estar aproximadamente a 10 mm de la parte superior de la cabeza del quemador o, a 12.5 mm de los orificios de salida de la llama ya que a medida que se incrementa la distancia entre la cabeza del quemador y la base de la olla la eficiencia disminuye.

Por otro lado, la forma de la parrilla que presentan las cocinas altera la forma de la llama así como ser un punto de pérdida de energía y no permite que irradie en toda la base de la olla, esto se puede apreciar con la Figura 2.2 y Figura 2.4. La Figura 2.4 muestra temperatura por encima de los 400°C en la parrilla. Por ello se proponen los arreglos mostrados en el Figura 2.5.

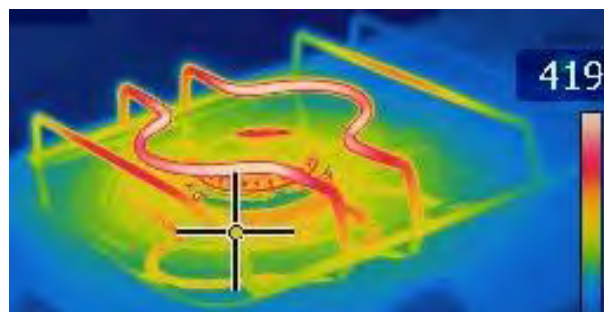
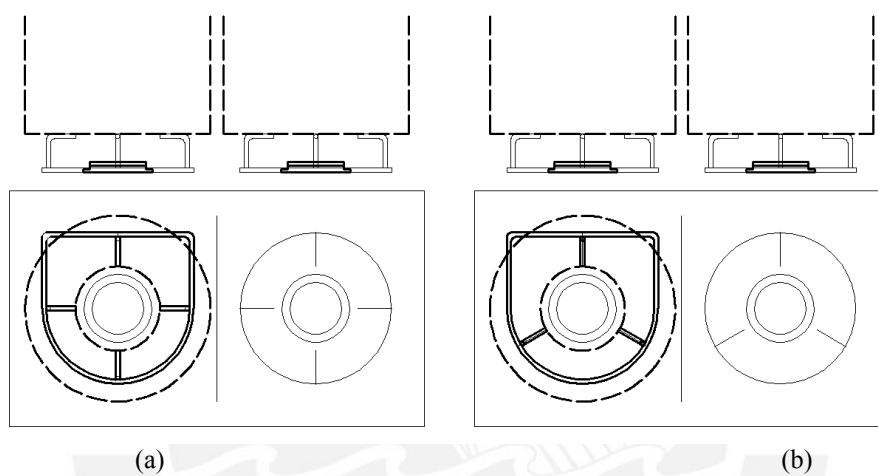


Figura 2.4 Temperatura de la parrilla luego de operación

En la Figura 2.5 se muestran 2 bocetos en donde se reduce los elementos que interceptan la llama del quemador con la finalidad de reducir las pérdidas y aumentar el calor que incide al a base de la olla.



(a) (b)
Figura 2.5 Propuesta de parrillas de 4 (a) y 3 (b) puntos con olla #22

Los prototipos se fabricaron y se montaron en la cocina anafe, las 2 variantes, de 3 y 4 puntos de apoyo, se muestran en la Figura 2.6. La Figura 2.7 muestra la cocina operando a la potencia nominal.



Figura 2.6 Parrillas a evaluar.



Figura 2.7 Efecto de las parrillas propuestas sobre la llama del quemador.

Estas 2 propuestas se fabricaron y se procedió a realizar la evaluación de eficiencia, considerando las mismas condiciones para todos los ensayos. Se obtuvo los siguientes resultados (Ver Tabla 1.1.2):

Tabla 2.2 comparativa de eficiencia para cada parrilla

| Rendimiento térmico | P_0 (%) | P_a (%) | P_b (%) |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Nominal | 58.1 | 59.1 | 60.4 |

De la Tabla 2.2 se concluye que con la parrilla original, P_0 , se obtiene una eficiencia de 58.1% mientras que con las propuestas se obtiene 59.1% y 60.4% para las parrillas de 4 y 3 puntos de apoyo, respectivamente. Es decir, para el arreglo de 3 puntos de apoyo se obtuvo una mayor eficiencia por lo que este se considera el de menores pérdidas, sin embargo durante la operación se apreció inestabilidad para ollas de mayor diámetro, por ello se propone como arreglo final la configuración presente en la Figura 2.8 y Figura 2.9.

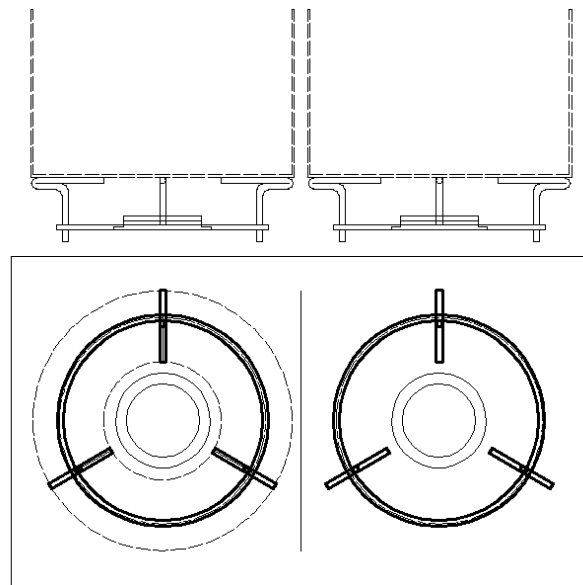


Figura 2.8 Propuesta de parrillas mejorada con olla #22



Figura 2.9 Parrilla 3 puntos mejorada

2.2. Soporte (estructura)

El soporte es el elemento que integra los demás componentes de la cocina tipo anafe. Entre las características de este elemento se debe cumplir adecuada:

- Resistencia a ataques químicos
- Resistencia mecánica
- Resistencia térmica

2.2.1. Dimensionamiento

Las cocinas tipos anafe analizadas presentan geometrías muy similares, además todas cumplen con los requisitos mínimos que exigen la norma NCh927/1.Of97, sin embargo todavía se puede optimizar la estructura , para ello se toma como referencia una olla #22, como se muestra en el Figura 2.10.

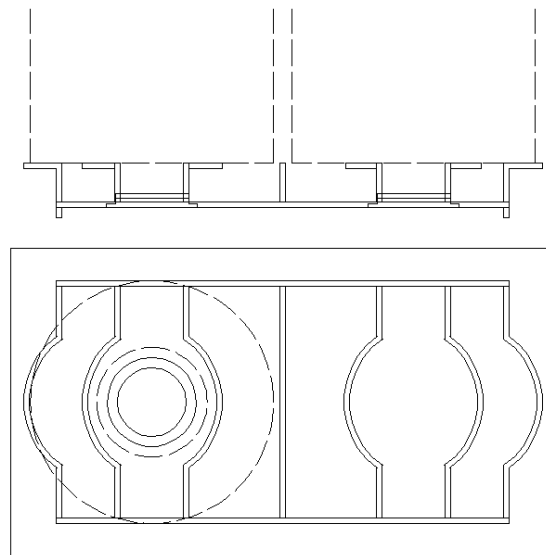


Figura 2.10Cocina tipo anafe CE-01 con olla #22

De acuerdo a las dimensiones de una olla estándar #22, se ajusta las medidas del soporte de la cocina para que se puedan colocar 2 ollas #22. La Figura 2.11 muestra las medidas preliminares del soporte de la cocina anafe, este soporte contará con una altura de 80 mm, un largo de 460 mm y un ancho de 225 mm.

Con estas medidas el soporte o estructura sigue cumpliendo con los requisitos mínimos exigidos por la normativa extranjera además de generarse una reducción en el material en la fabricación de este elemento.

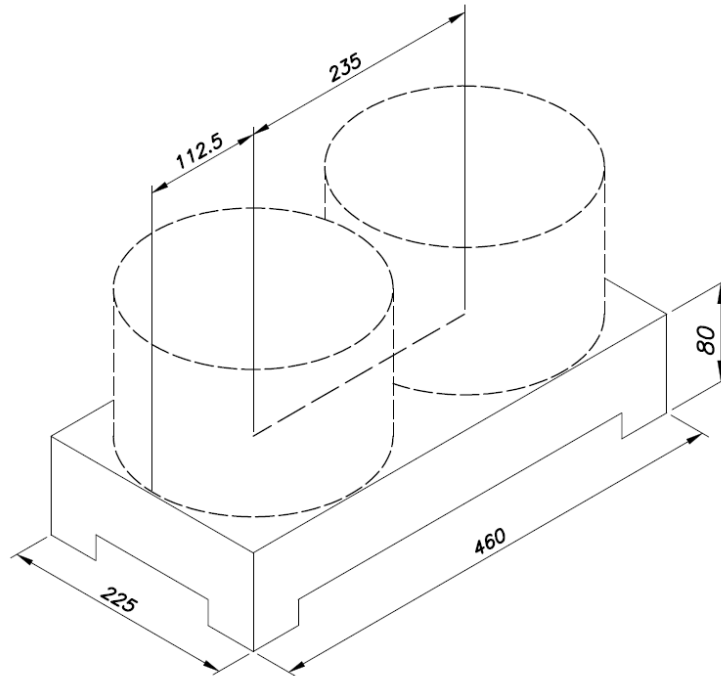


Figura 2.11 Medidas preliminares para el nuevo soporte.

2.2.2. Material

Debido a la naturaleza del artefacto, se libera energía en todas direcciones desde el quemador, de allí la considerable pérdida de energía y, por ende, el bajo rendimiento de la cocina tipo anafe. Parte de la energía se disipa por el soporte y éste llega a temperaturas considerables, más de 200 °C, pudiendo ocasionar quemaduras a las personas que operan las cocinas.

Para analizar las diferentes opciones que se encuentran en el mercado; como el enlozado, pintado y de acero inoxidable (sin recubrimiento); se toma la temperatura en varios puntos del soporte luego de 15 minutos, este tiempo es el indicado para el ensayo de calentamiento en la norma técnica NCh927/1.Of97.

Al igual que en los ensayos anteriores, la comparativa se realiza con el mismo sistema de combustión (tubería, válvula de regulación, mezclador y quemador) para los 3 tipos de

soportes analizados. Se dejó operando la cocina anafe y pasado el tiempo determinado se procedió a tomar las mediciones de los puntos como se muestra en el Figura 2.12.

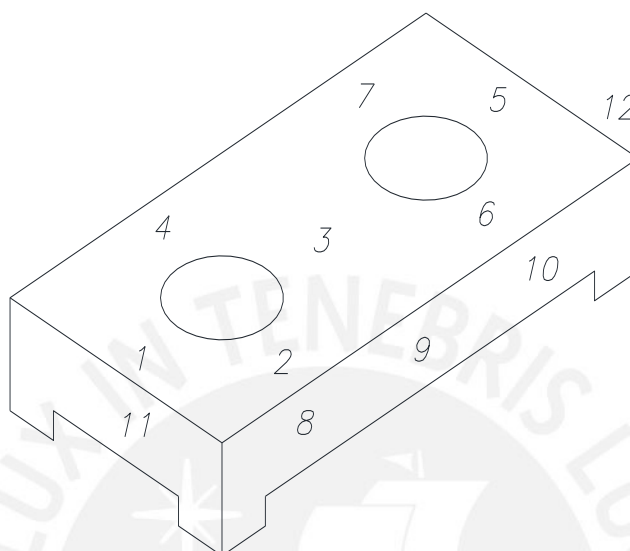


Figura 2.12 Distribución de temperaturas para ensayo Fuente:
Elaboración propia

Los resultados se presentan en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Comparativa de temperaturas de soporte con distintos recubrimientos

| Zona | Enlozada (°C) | Esmaltada (°C) | Inoxidable (°C) |
|------------|---------------|----------------|-----------------|
| T3 | 65.5 | 50 | 48 |
| T5 | 90 | 68.5 | 61 |
| T6 | 78 | 65 | 74 |
| T7 | 82 | 60.6 | 79 |
| T9 | 40 | 36.3 | 33 |
| T10 | 51 | 46 | 51.4 |
| T12 | 63 | 38.4 | 38 |

Claramente el recubrimiento enlozado alcanzó temperaturas más altas en su superficie midiéndose temperaturas desde los 40° hasta los 90°, por otro lado, las temperaturas del soporte pintado se encuentran entre 36.3° y 68.5° y para el soporte acero inoxidable, entre 33° y 79°. Además de la toma de temperaturas en la superficie se realizaron fotografías

térmicas, en ellas se puede observar la distribución de temperaturas en los elementos de la cocina para los distintos tipos de superficie.

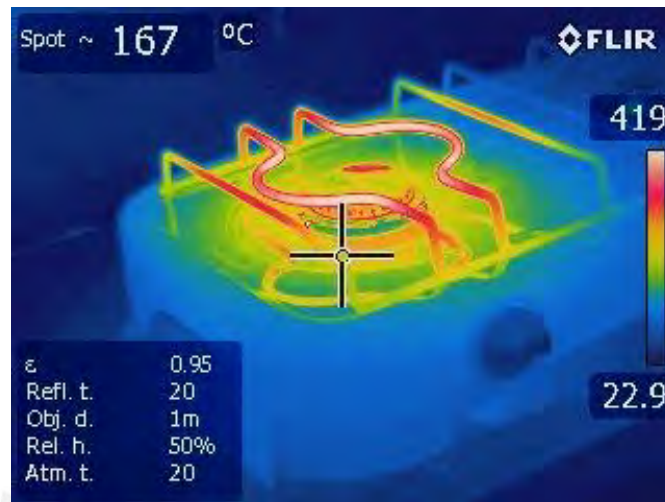


Figura 2.13 Fotográfica termografía de la cocina CL-01.

En la Figura 2.13 se presenta la distribución de temperaturas para la cocina CL-01 donde se aprecia temperaturas alrededor de los 200° en la superficie cercana a la tapa del quemador, y temperaturas alrededor de los 400° en la zona central de la parrilla.

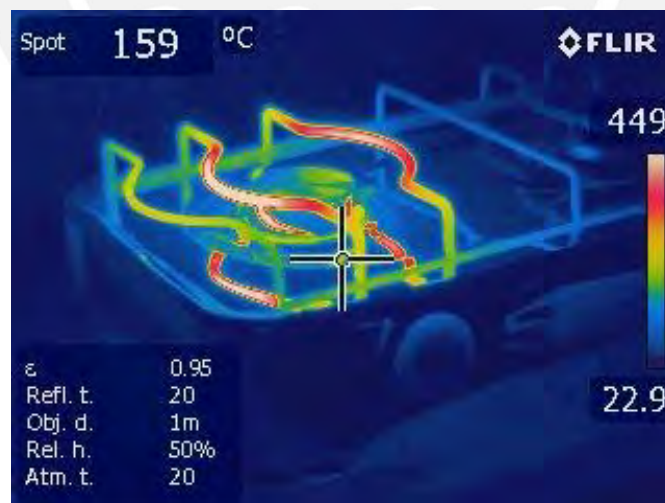


Figura 2.14 Fotográfica termografía de la cocina CA-01.

En la Figura 2.14 se presenta la distribución de temperaturas para la cocina CA-01 donde se aprecia temperaturas por debajo de los 100° en la superficie cercana a la tapa del quemador, y temperaturas por encima de los 400° en la zona central de la parrilla.

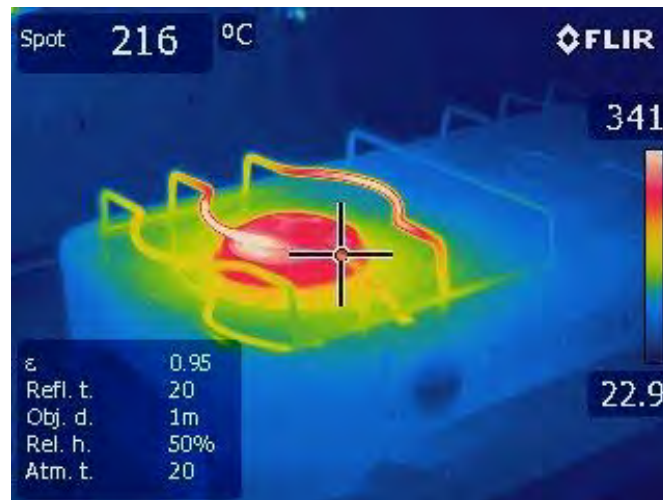


Figura 2.15 Fotografía termografía de la cocina CE-01.

Finalmente en la Figura 2.15 se presenta la distribución de temperaturas para la cocina CE-01 donde se aprecia temperaturas alrededor de los 200° en la superficie cercana a la tapa del quemador, y temperaturas por encima de los 300° en la zona central de la parrilla.

De acuerdo a los resultados cuantitativos y cualitativos, realizados a los 3 tipos de recubrimiento, se llega la conclusión que el soporte de acero inoxidable presenta una mejor disipación de calor, con lo que garantiza un grado mayor de seguridad.

2.3. Válvula de regulación (perilla)

La función de la válvula de regulación del quemador es de aumentar o reducir el flujo de gas con la finalidad de obtener un mayor o menor potencia a la salida del quemador, la fabricación, materiales y componentes varía entre modelos y fabricantes sin embargo la válvula más común empleada es la que se muestra en la Figura 2.16. La válvula de regulación contiene una serie de componentes, algunos presentan agujeros que tienen la función de

restringen el paso del gas produciendo un aumento en la presión y una reducción en el flujo del gas (Ver Figura 2.17). La válvula generalmente contiene el inyector, Figura 2.18.

En una apertura completa de la válvula de regulación el único componente limitador del flujo de gas es el inyector. Con la modificación de la válvula de regulación se puede obtener un consumo mayor, aumentando el diámetro del agujero del inyector, o menor, disminuyendo el diámetro del agujero del inyector. Por lo antes explicado, es de suma importancia definir un diámetro adecuado para obtener el consumo que se ha establecido para la potencia nominal de 1.5 kW.

En este documento no se profundiza en el diseño del inyector ni en su geometría, sin embargo, se ha empleado la información de trabajos previos [3], estos concluyen que el diámetro del inyector debe ser de 0.65 mm ya que con ese diámetro se obtiene un caudal aproximado de 0.98 l/min, con dicho caudal la potencia es de 1.57 kW. Es decir, se puede considerar de manera nominal una potencia de 1.5 kW.

Además, el consumo reducido acorde con el consumo nominal no debe superar los 0.44 kW, esto se obtiene por el mecanismo propio de la válvula de regulación, donde, como ya se mencionó, los agujeros internos limitan el flujo de gas.



Figura 2.16 Explosión de válvula de quemador.
Fuente: Elaboración propia



Figura 2.17 Mecanismo de reducción de flujo del gas.
Fuente: Elaboración propia



Figura 2.18 Inyector.
Fuente: Elaboración propia

En resumen, la válvula regula la cocina en 2 puntos de operación, a su consumo nominal, 1.5 kW; y a consumo reducido, 0.44 kW, esto abre una nueva interrogante, ¿es suficiente tener 2 puntos de operación, máximo y mínimo, en las cocinas domesticas?

Según los resultados obtenidos por el SAE (servicio de análisis energético) de la PUCP en la determinación de la eficiencia de cocinas a gas y eléctricas se concluye que la eficiencia de las cocinas a gas varía en función de la potencia del quemador (apertura de la válvula de regulación), ver Figura 2.19, la misma tendencia se mantiene para los 2 tamaño de ollas normalizadas, olla #22 y #20, ver Figura 2.20. los resultados obtenidos por el SAE se corroboran en la referencia [4] donde se determinó la influencia de la potencia del quemador en la eficiencia (Figura 2.21), la influencia del tipo de olla en la eficiencia (Figura 2.22).

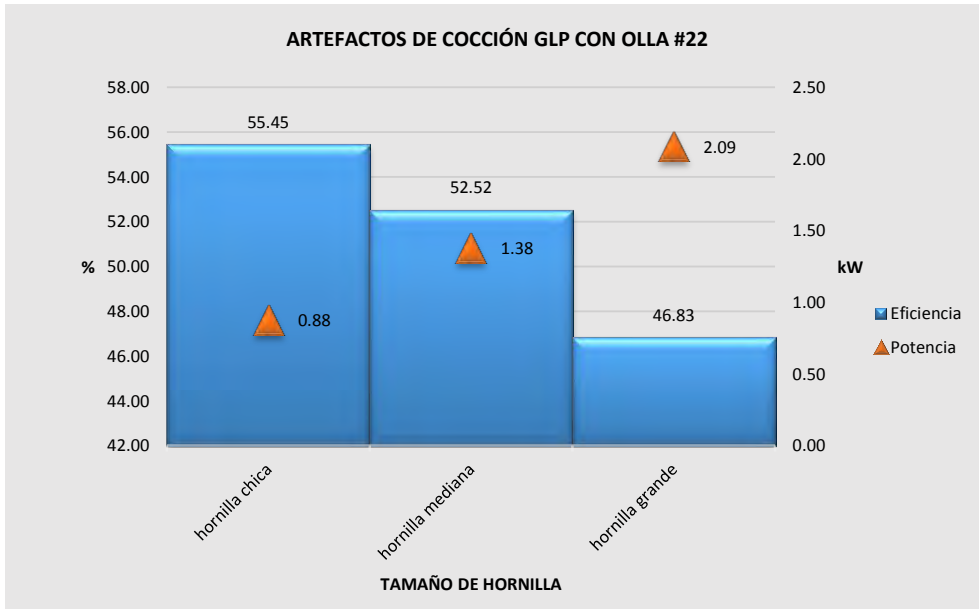


Figura 2.19 Comportamiento de la eficiencia en función de la potencia
Fuente: SAE

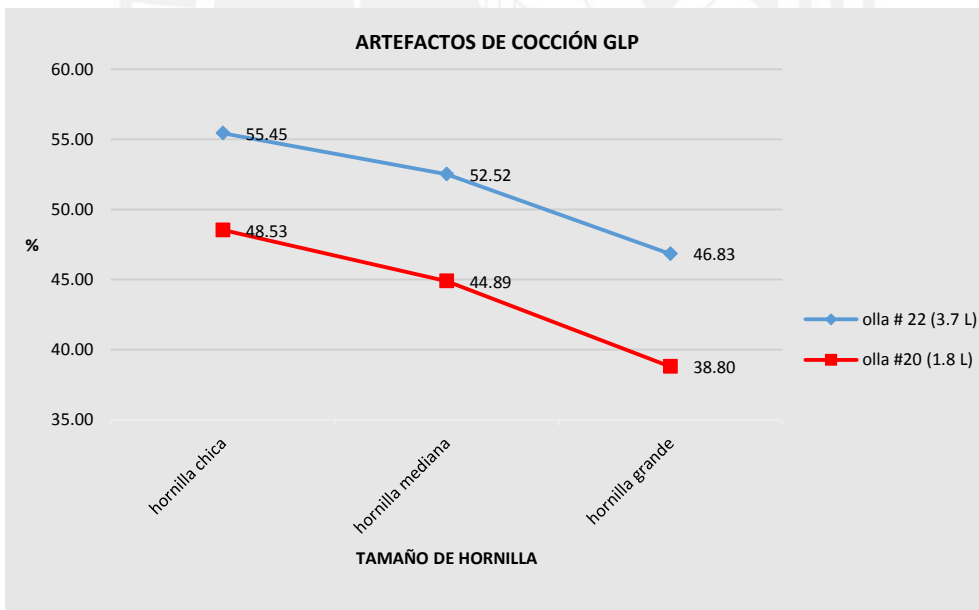


Figura 2.20 Comportamiento de la eficiencia en función de la potencia y el tamaño de olla
Fuente: SAE

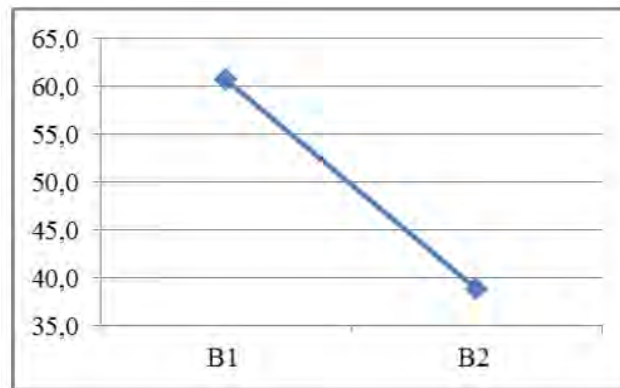


Figura 2.21 Grafica de eficiencia (%) vs potencia del quemador (B).
Fuente: [4]

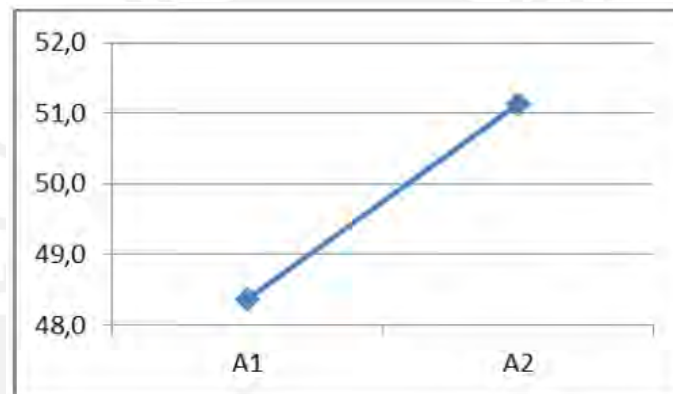


Figura 2.22 Grafica de eficiencia (%) vs tipo de recipiente (A).
Fuente: [4]

En los ensayos realizados por el SAE se determina que al cambiar el tamaño de la olla se produce una reducción en la eficiencia del quemador, por ello, para obtener un mejor desempeño del quemador de la cocina anafe se propone un flujo gradual, es decir, que se admita más de 2 puntos de operación y administrar de una mejor manera el consumo de combustible sin presentar cambios drásticos en la eficiencia de la cocina anafe.

Partiendo de la potencia nominal (máxima apertura) de 1.5 kW y considerando el consumo reducido recomendado por la norma técnica chilena, 0.44 kW, se proponen 2 puntos intermedios, con lo que la distribución final se presenta en la Figura 2.23. En la Figura 2.24

se presenta un prototipo de la válvula de regulación e inyector con las características propuestas.

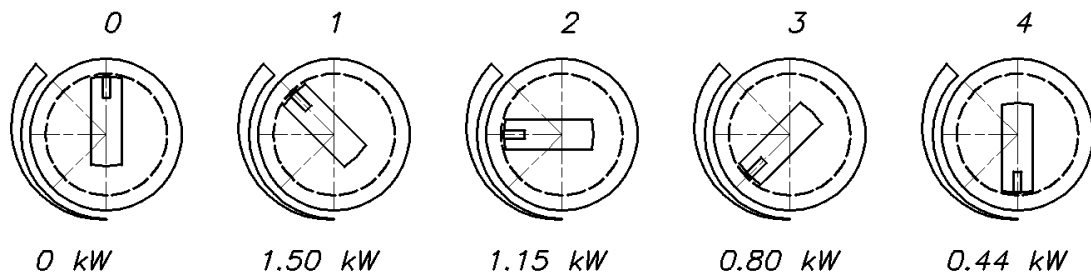


Figura 2.23 Distribución de las posiciones de la perilla de la cocina.
Fuente: Elaboración propia



Figura 2.24 Prototipo de válvula de regulación de gas

Empleando la misma metodología de cálculo que la usada para determinar el diámetro del inyector, se determina, de manera aproximada, los diámetros internos de la válvula de regulación sin embargo es necesario realizar pruebas para verificar dichos cálculos. Estos diámetros se muestran en la Tabla 2.4. En la Tabla 2.4 el flujo de gas para obtener una potencia de 0.44 kW es de 0.28 l/min con lo que el diámetro debe ser aproximadamente de 0.35 mm, para 0.80 kW le corresponde un diámetro de 0.47 mm, para 1.15 kW un diámetro de 0.56 mm y finalmente, como ya se calculó, para la potencia de 1.50 kW el diámetro correspondiente es de 0.64 mm.

Tabla 2.4 valores teóricos correspondientes a las distintas posiciones de la perilla

| Potencia (kW) | Flujo (l/min) | Diámetro (mm) |
|---------------|---------------|---------------|
| 0.44 | 0.28 | 0.35 |
| 0.80 | 0.51 | 0.47 |
| 1.15 | 0.73 | 0.56 |
| 1.50 | 0.96 | 0.64 |

2.4. Mezclador

Como su nombre lo indica, en este elemento se realiza la mezcla aire-gas, el principio de funcionamiento ya se explicó en el capítulo 1, y en este apartado solo se seleccionará el mejor arreglo en base a investigaciones previas.



Figura 2.25 Mezclador original de las cocinas tipo anafe nacionales

Para una adecuada combustión es sumamente importante obtener una adecuada mezcla aire-gas, se recomienda para el diseño de quemadores que el aire primario sea aproximadamente el 70% del aire estequiométrico [5] el otro 30% restante es completado en la tapa del quemador.

Como parte del dimensionamiento del mezclador se revisaron los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto 157-FINCYT-IA-2013, estos resultados se muestran en la Figura 2.26. En dicha figura se esquematiza, de manera ideal, las dimensiones de un mezclador para un quemador atmosférico doméstico. Además, en la Tabla 2.5 se muestran dos propuestas para la geometría del mezclador.

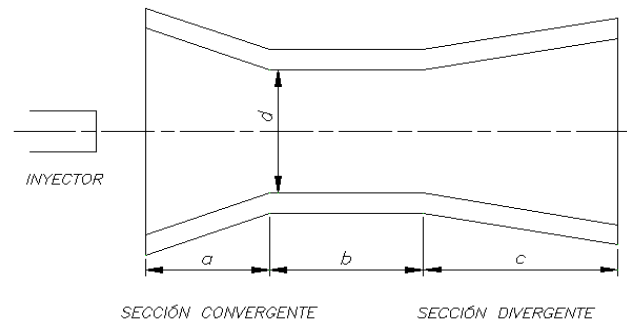


Figura 2.26. Esquema del sistema del quemador

Fuente:

Para las características antes mencionadas las dimensiones fueron las siguientes:

Tabla 2.5. Dimensionamiento de los mezcladores

| Modelo | Long. Sección convergente "a" (mm) | Ángulo de convergencia (°) | Long. Garganta "b" (mm) | Diámetro de garganta "d" (mm) | Long. Sección divergente "c" (mm) | Ángulo de divergencia (°) |
|--------|------------------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| M-1 | 14,2 | 40 | 0 | 5,7 | 68 | 7 |
| M-2 | 10,5 | 40 | 0 | 4,2 | 50,5 | 7 |

Fuente:

La geometría presentada anteriormente, es la determinada para obtener un alto rendimiento, sin embargo, debido a la complejidad del arreglo tipo Venturi que se presentó en la Figura 2.26, no es rentable para los fabricantes realizar un mezclador con dicha geometría, por ello se realizó una aproximación determinando únicamente la zona convergente.

Debido a que se va a proponer una alternativa mucho más simple, se tiene que volver a determinar el diámetro interno del mezclador, para ello se emplea la ecuación (2-1) [6]

$$r = \sqrt{s} * \left(\sqrt{\frac{A_g}{A_i}} - 1 \right) = \sqrt{s} * \left(\frac{d_g}{d_i} - 1 \right) \quad (2-1)$$

Dónde:

r = Relación volumétrica entre el aire primario y el gas combustible (adimensional)

s = Gravedad específica del gas combustible (adimensional)

A_g = Área de la garganta del mezclador (mm^2)

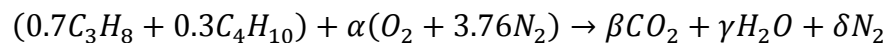
A_i = Área del inyector (mm^2)

d_g = Diámetro de la garganta del mezclador (mm)

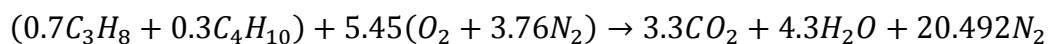
d_i = Diámetro del inyector (mm)

Siguiendo la recomendación ya antes presentada, el aire primario es entre el 60% y 70% del aire estequiométrico. se procede a determinar el diámetro de la garganta del mezclador.

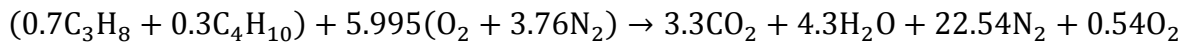
Para el GLP nacional, con una composición de 70% propano y 30% butano, se realiza el equilibrio estequiométrico.



Desarrollando y despejando las variables se obtiene lo siguiente:



Sin embargo, se estima tener un exceso de 10% de aire, con lo que el equilibrio queda de la siguiente forma:



Con lo que se concluye que la relación aire combustible es la siguiente:

$$RAC_{em} = \frac{4.45 * 4.76 * 28.97}{0.7 * 44.1 + 0.3 * 58.12} = 17.1$$

Además, la masa de combustible se determina con el flujo de combustible nominal presentado en la Tabla 2.4.

$$\dot{m}_g = \dot{V}_g * \rho_g = 3.34 * 10^{-5} \frac{kg}{s}$$

Luego se determina la masa de aire estequiométrico

$$\dot{m}_{ae} = RAC_{em} * \dot{m}_g = 5.71 * 10^{-4} \frac{kg}{s}$$

Luego el aire primario se despeja de la siguiente relación

$$\alpha = \frac{\dot{m}_{ap}}{\dot{m}_{ae}} = 64\%$$

$$\dot{m}_{ap} = \dot{V}_g * r * \rho_a = 3.65 * 10^{-4} \frac{kg}{s}$$

Finalmente, empleando la ecuación (2-1) se despeja el diámetro de la garganta del mezclador.

$$r = \sqrt{s} * \left(\frac{d_g}{d_i} - 1 \right) = 18.58$$

$$d_g = 10 \text{ mm}$$

Con lo cual se estima que el diámetro de la garganta debe ser aproximadamente de 10 mm

Una vez obtenido el diámetro interno del nuevo mezclador se puede proponer un prototipo, este prototipo se muestra en la Figura 2.27.

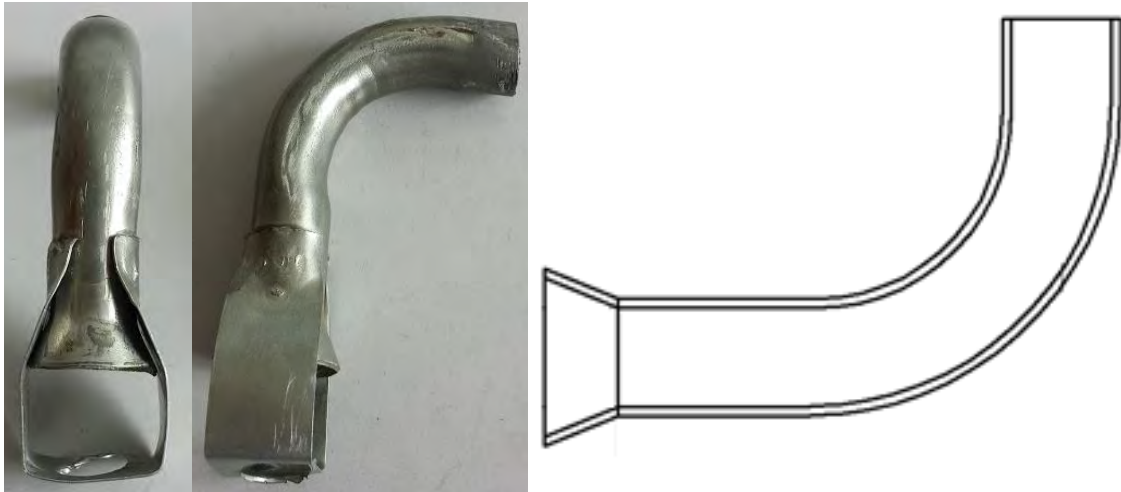


Figura 2.27 Mezclador modificado

Este nuevo arreglo permite una mejor mezcla de aire con el gas y obtener una mejor combustión, El prototipo del mezclador se basa en un diseño fabricado y evaluado por el SAE (servicio de análisis energético) de la PUCP.

2.5. Quemador

Como ya se mencionó, el quemador es el componente en el cual se libera la energía del gas y es entregada al recipiente para la cocción.

Los quemadores deben cumplir ciertos requisitos para su correcta operación [7] como:

- a) Llama estable.
- b) Buena mezcla de gas-aire.
- c) Adecuado flujo de gas en función de la potencia.
- d) Una combustión completa.

En este documento no se diseñará la cámara de mezcla ni la geometría de todo el quemador, pero sí se caracterizará la cabeza del quemador.

El diseño de la cabeza del quemador se realiza de tal forma que se mantenga la estabilidad de la llama y no se produzcan los fenómenos de desprendimiento de llama ni retroceso de llama.

La Figura 2.28 muestra el esquema del frente de llama, así como la dirección de la velocidad de la mezcla y la velocidad de deflagración.

La velocidad de deflagración es la velocidad con la que se propaga la reacción química de la combustión y depende de factores como la temperatura, presión y geometría donde se realiza la combustión. [8].

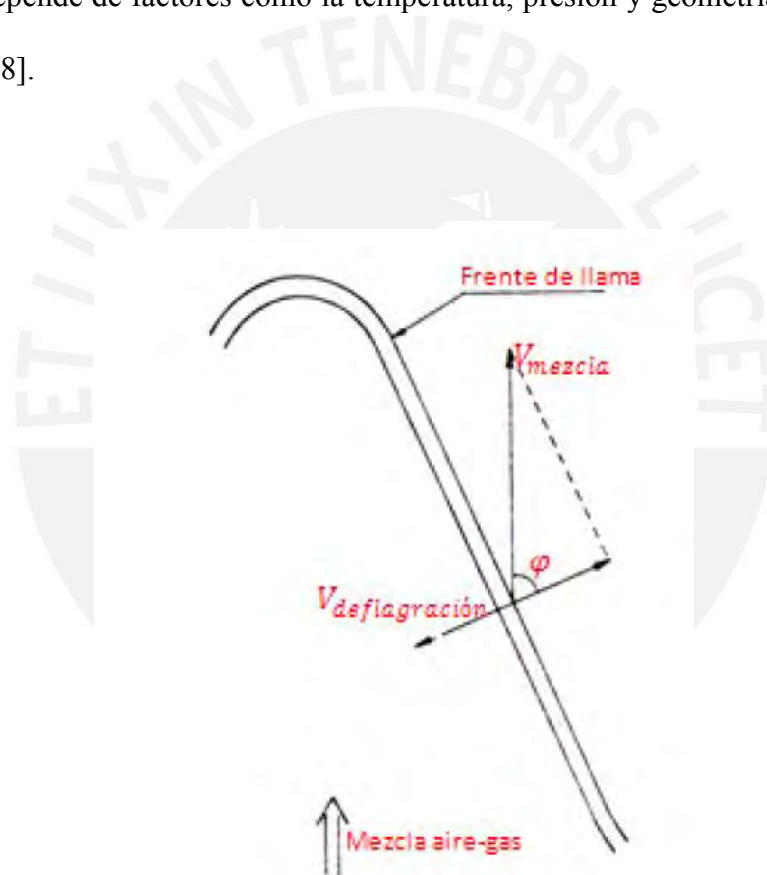


Figura 2.28 Esquema de estabilidad del frente de llama
Fuente: [8]

La estabilidad de la llama se logra cuando la componente perpendicular al frente de llama de la velocidad de la mezcla sea igual o superior a la velocidad de deflagración de la mezcla

(característica propia de la mezcla) [8]. De alejarse de este valor suceden los siguientes dos fenómenos:

- El desprendimiento se produce al tener la componente perpendicular al frente de llama de la velocidad de salida de la mezcla muy superior a la velocidad de propagación o deflagración, los quemadores que emplean gas natural, butano, propano o sus mezclas con aire son más propensos a presentar este fenómeno por su baja velocidad de propagación.
- El retroceso, por otro lado, se presenta cuando la componente perpendicular al frente de llama de la velocidad de salida de la mezcla es muy inferior a la de propagación o deflagración.

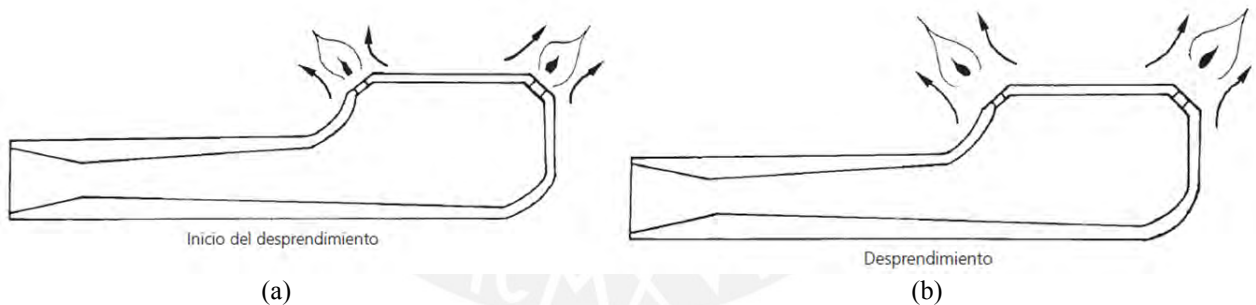


Figura 2.29 Fenómeno de desprendimiento de llama.

Fuente: Especificaciones técnicas CONAIF-SEDIGAS para la certificación de instaladores de gas. Materias comunes Tipos A, B y C

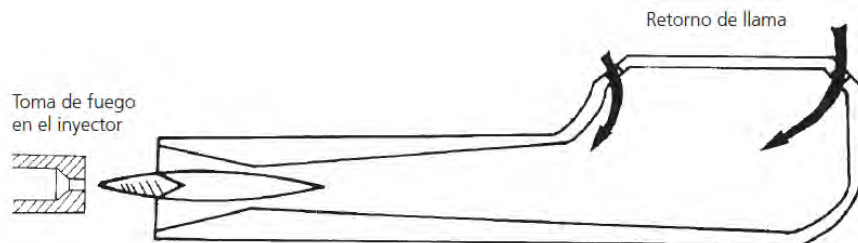


Figura 2.30 Fenómeno de retroceso de llama.

Fuente: Especificaciones técnicas CONAIF-SEDIGAS para la certificación de instaladores de gas. Materias comunes Tipos A, B y C

De manera experimental se ha determinado que la velocidad de la mezcla debe estar entre 2 y 5 veces la velocidad de deflagración para garantizar una llama estable [8].

Otro fenómeno, no menos importante, es el de la presencia de puntas amarillas, representado en la Figura 2.31. Esto se debe a la quema de las partículas de carbono formadas en la incorrecta combustión de los hidrocarburos que componen el gas [8]. En algunos casos, si estas partículas se enfrían y escapan de la llama pueden formar hollín. La regulación de gas o aire primario puede disminuir y hasta llegar a eliminar este fenómeno. Sin embargo, en quemadores atmosféricos no es posible tener control sobre el flujo de aire o combustible por ello está ligado únicamente a las características de la cabeza del quemador.



Figura 2.31. Fenómeno de puntas amarillas.

Además de la velocidad de deflagración otro parámetro importante es la potencia específica, este parámetro está definido como la relación de potencia y área total de salida en la cabeza del quemador.

Como se ilustra en la Figura 2.32, es importante tener una adecuada relación de aire primario/aire estequiométrico, así como una baja potencia específica, ya que al tener un valor muy elevado de potencia específica se puede presentar desprendimiento y aparición de puntas

amarillas además de poder sobrepasar el valor límite de CO/CO_2 , esto es un indicio de combustión incompleta.

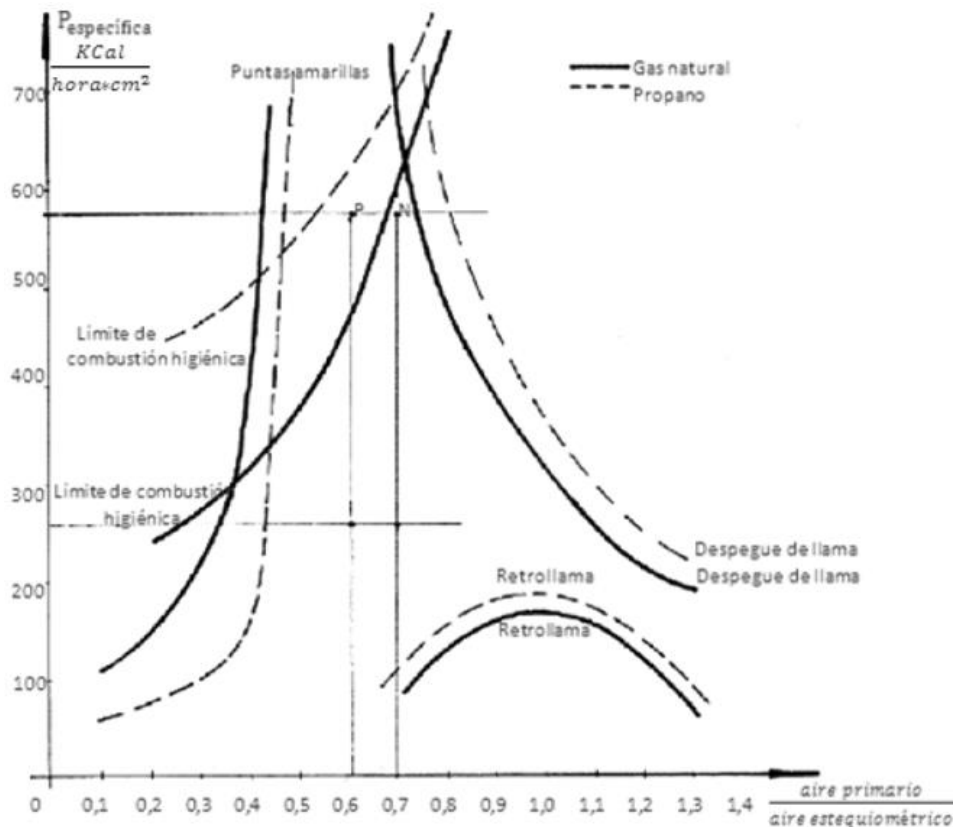


Figura 2.32 Representación experimental de los límites de soplado, retroceso, puntas amarillas e higiene de combustión en función de la aireación y el caudal.

Fuente: [8]

Para poder determinar las características del quemador prototipo primero se evaluarán los quemadores que se distribuyen en el mercado nacional para luego, en base a los resultados obtenidos, definir la cantidad de agujeros, tamaño de agujeros y espaciamiento entre ellos para que no ocurran los fenómenos comunes en la llama.

Estudios realizados por [7], (Tabla 2.6), muestran de manera cualitativa la influencia de algunos parámetros de diseño del quemador tales como el diámetro del inyector, el diámetro de los orificios de la cabeza del quemador, la profundidad de los orificios, separación de los

orificios de la cabeza del quemador, etc.; en la tendencia de aparición de los fenómenos de llama.

Tabla 2.6 Efecto de los parámetros del quemador en los fenómenos de la combustión

| VARIACIÓN DE UN FACTOR QUEDANDO LOS DEMÁS CONSTANTES | TENDENCIA AL DESPRENDIMIENTO | TENDENCIA AL RETORNO DE LLAMA | APARICIÓN DE LAS PUNTAS AMARILLAS (CALIDAD DE LA COMBUSTIÓN) |
|---|-------------------------------------|--------------------------------------|---|
| Porcentaje de aireación primaria ↑ | ↑ | ↑ | ↓ |
| Diámetro del inyector ↑ | ↑ | ↓ | ↑ |
| Diámetro de los orificios ↑ | ↓ | ↑ | ↑ |
| Profundidad de los orificios ↑ | ↓ | ↓ | nulo |
| Sección de salida ↑ | ↓ | ↑ | ↓ |
| Separación de los orificios ↑ | ↑ | nulo | ↓ |

2.5.1. Evaluación

Para determinar cuál de los quemadores es el que proporciona las mejores características se emplea una misma cocina y únicamente se cambiarán los quemadores, para garantizar las mismas condiciones. Luego de los ensayos de eficiencia (protocolo de rendimiento) se obtuvo los resultados mostrados en la Tabla 4.1.1:

Tabla 2.7 Comparativa de eficiencia para cada tipo de quemador

| Rendimiento Térmico | CL01 (%) | CA01 (%) | CE01 (%) | CE02 (%) | CM01 (%) |
|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Alto | 57.7 | 53.8 | 58.2 | 50.4 | 50.4 |

Como se puede apreciar, los quemadores del modelo CL-01 y CE-01 son los que obtuvieron el rendimiento más alto.



Figura 2.33 Quemador CL-01 en operación.



Figura 2.34 Quemador CA-01 en operación.



Figura 2.35 Quemador CE-01 en operación.



Figura 2.36 Quemador CE-02 en operación.

2.5.2. Cálculo

Tomando como referencia el documento “Biogas stove design, a short course” del Dr. David Fulford [6], se estimarán las dimensiones de la cabeza del quemador.

Teóricamente, para evitar desprendimiento de llama la componente perpendicular de la velocidad de la mezcla al frente de llama tiene que ser igual o ligeramente superior a la velocidad de propagación o deflagración. Asumiendo que el GLP distribuido en el país es en su mayoría propano, el valor de velocidad de propagación se toma de la Figura 2.37. La Figura 2.37 muestra la velocidad de propagación en función de la relación combustible-aire equivalente (ϕ); este último valor representa la relación combustible-aire real vs estequiométrico o relación aire-combustible estequiométrico vs real.

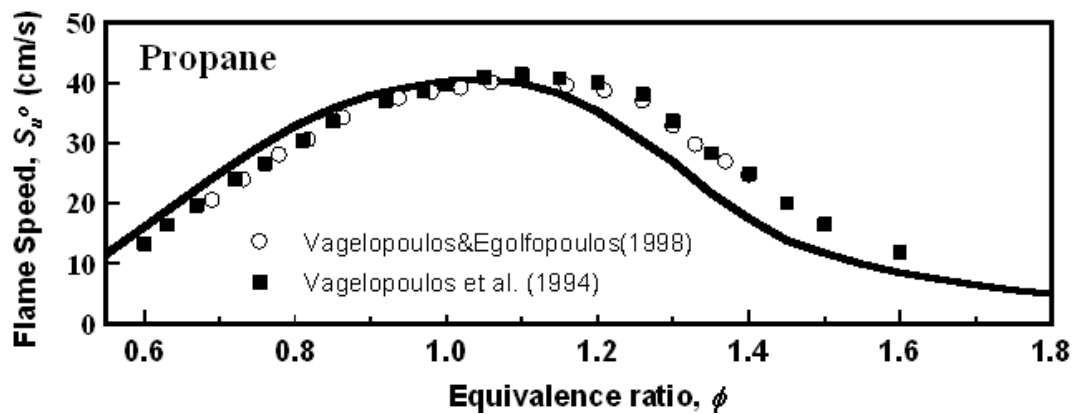
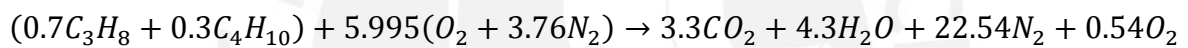


Figura 2.37 Velocidad de propagación de la llama para el propano.

Fuente: http://ignis.usc.edu/Mechanisms/USC-Mech%20II/Vagelopouos_flame_C3H8.htm

Considerando 1,1 veces la cantidad de aire estequiométrico se obtiene el siguiente balance:



Con lo cual se obtiene una relación combustible-aire equivalente (ϕ) de 0.91. A partir de ese valor se determinar que la velocidad de propagación es de aproximadamente 0.40 m/s

$$v_m = \frac{\dot{V}_m}{A_p}$$

También se sabes que:

$$\dot{V}_m = \frac{Q * (1 + r)}{3600}$$

$$A_p = n_p * \frac{\pi * d_p^2}{4}$$

Donde:

\dot{V}_m = Caudal de la mezcla (m^3/s)

v_m = Velocidad de la mezcla (m/s)

n_p = Número de agujeros en la cabeza del quemador

A_p = Área total de salida (m²)

d_p = Diámetro de los agujeros en la cabeza del quemador (m)

Q = Caudal de gas (m³/h)

r es la relación aire combustible (adimensional)

Empleando los resultados del cálculo del mezclador:

$$\dot{V}_m = \frac{0.059 * (1 + 18.57)}{3600} = 19.19 \frac{l}{min}$$

Para determinar el número de agujeros se asume la configuración del quemador CL-01, el diámetro de un puerto se considera de 2.15 mm.

$$d_p = 2.15 \text{ mm}$$

$$A_p = n_p * \frac{\pi * 2.15^2}{4}$$

Despejando

$$n_p = \frac{Q_m}{v_p * A} = 220 \text{ agujeros}$$

Con esta cantidad de agujeros, el área total es de 798 mm².

Sin embargo, debido a la restricción de espacio, se opta por disminuir el número de agujeros empleando el rango de la velocidad de la mezcla, entre 2 a 5 veces la velocidad de deflagración [8].

Empleando un punto intermedio del rango de la velocidad de la mezcla de aproximadamente 3.4 veces la velocidad de deflagración:

$$n_p = \frac{Q_m}{v_p * 3.4 * A} = 65 \text{ agujeros}$$

Con este número de agujeros la nueva área total es de 235.1 mm².

Con los parámetros antes obtenidos la potencia específica queda definida de la siguiente manera:

$$P_e = \frac{P}{A_p} = 638 \frac{W}{cm^2}$$

Con estos parámetros se garantiza una adecuada combustión sin presencia de fenómenos de llama.

Finalmente, durante las evaluaciones previas se determinó el perfil de temperaturas para un quemador (Figura 2.39). En la Figura 2.39 se aprecia una fuerte disminución de la temperatura en la zona central del quemador, la inequidad de la temperatura en la superficie de la base del recipiente afecta en el rendimiento del quemador. Por esta razón se toma en cuenta una distribución homogénea en la superficie de la cabeza del quemador.



Figura 2.38 Operación de un quemador de cocina típico
Fuente: Elaboración propia

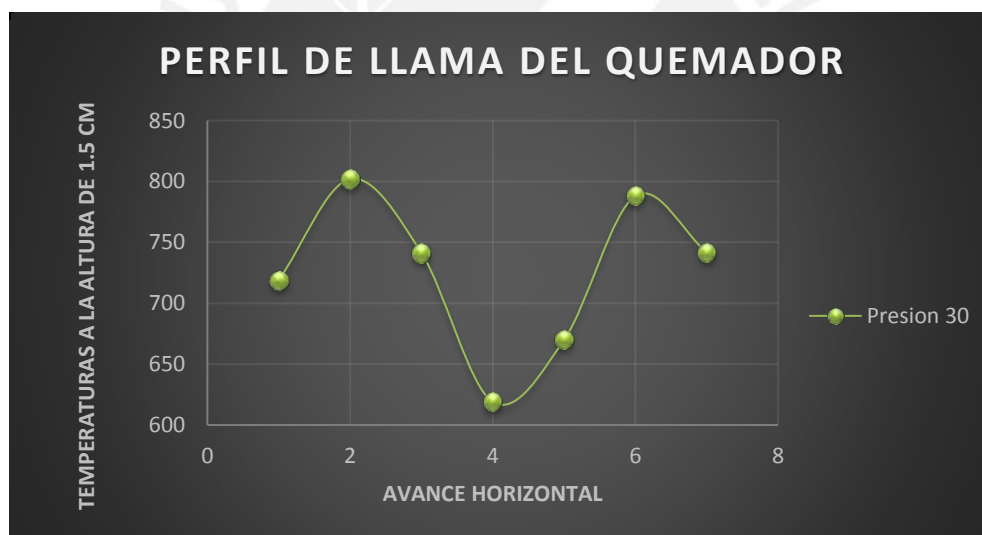


Figura 2.39 Perfil de temperatura de la llama de un quemador típico

2.5.2.1. Prueba de prototipos de quemadores

Empleando la información recopilada se procedió a realizar prototipos y evaluarlos. A continuación, se presenta la comparativa de las siguientes propuestas:

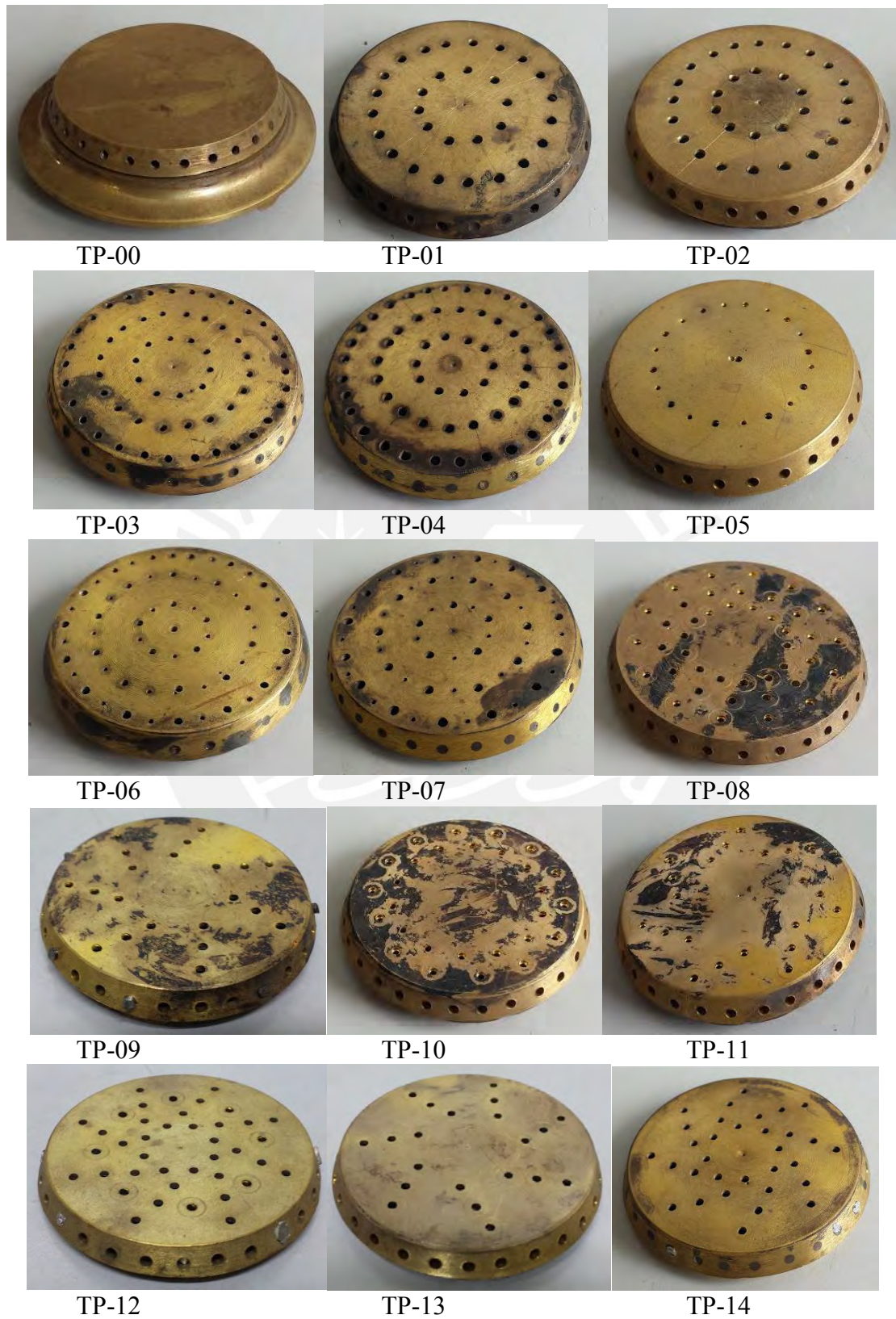


Figura 2.40 Prototipos de tapas de quemadores

Para el análisis comparativo se emplearan las tapas TP-00, TP-01, TP-02, TP-03, TP-04, TP-05, TP-07, TP-09; las demás tapas presentan evidencia de una combustión inapropiada reflejada en el color y forma de la llama, así como combustión no homogénea en la totalidad de los agujeros de la tapa del quemador, por lo que se descartaron del análisis.

En la Figura 2.41 se muestran algunos de los ensayos realizados a las distintas tapas prototipo evaluadas, en esta figura se aprecia los fenómenos de puntas amarillas y desprendimiento de llama.



Figura 2.41 Fenómenos presentes durante los ensayos

La Figura 2.42 se muestra de manera cualitativa una adecuada combustión, donde la llama es homogénea, no presenta puntas amarillas y el color de la llama, azul, indica combustión completa.



Figura 2.42 Operación de prototipo de una tapa quemador

Se realiza los ensayos correspondientes al rendimiento y combustión según los protocolos presentados en el capítulo anterior, y se obtuvo los resultados presentados en la Tabla 2.8 y Tabla 2.9.

Tabla 2.8 Comparativa de rendimientos de las tapas de quemadores

| Rendimiento Térmico | TP-00 (%) | TP-01 (%) | TP-02 (%) | TP-03 (%) | TP-04 (%) | TP-05 (%) | TP-07 (%) | TP-09 (%) |
|----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Alto | 60.3 | 61.8 | 58.8 | 63 | 64.3 | 64.1 | 64.9 | 64.1 |

Tabla 2.9 Comparativa de CO_N de las tapas de quemadores

| Combustión | TP-00 (%CO_N) | TP-01 (%CO_N) | TP-02 (%CO_N) | TP-03 (%CO_N) | TP-04 (%CO_N) | TP-05 (%CO_N) | TP-07 (%CO_N) | TP-09 (%CO_N) |
|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Alto | 0.061 | 0.341 | 0.31 | 0.303 | 0.244 | 0.052 | 0.24 | 0.172 |

Los resultados de rendimiento muestran que la tapa de quemador con mayor rendimiento es la TP-07 con 64.9%, sin embargo, las emisiones de la TP-07 son elevadas, 0.24% CO_N . Por ello se selecciona la TP-05 que presentan menor rendimiento, 64.1% pero un menor porcentaje de monóxido de carbono neutro (CO_N), 0.052 % CO_N .

2.6. Tubería

El material, las dimensiones y la forma de la tubería determinan las condiciones del flujo en transporte, así como la caída de presión debido a este transporte, sin embargo, no es lo único que importa, las condiciones bajo las que operan las cocinas puede ocasionar deterioros a las tuberías por ello una adecuada protección contra corrosión también se deberá tomar en cuenta.

La Figura 2.43 muestra la tubería de distribución de gas que se coloca en las cocinas tipo anafe comerciales.



Figura 2.43 Tubería de distribución de gas.
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 2.44 se presenta el esquema de la cocina tipo anafe y la posición de la tubería de distribución de gas.

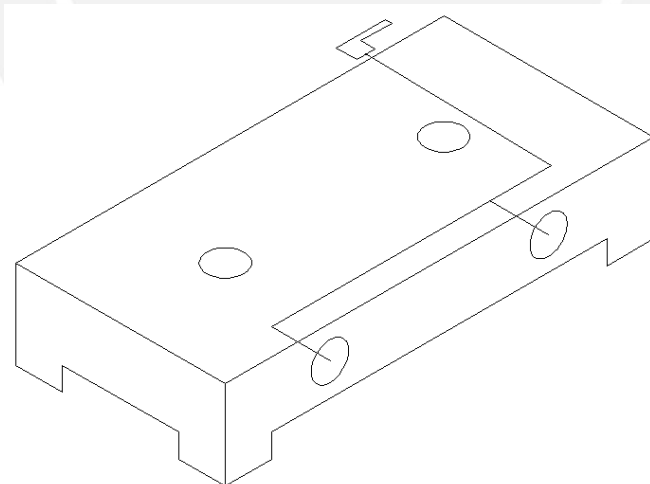


Figura 2.44 Detalle de la posición de la tubería.
Fuente: Elaboración propia

Para analizar adecuadamente la tubería de distribución, primero se verificará la velocidad y la caída de presión en la tubería para las medidas más empleadas para este elemento. Para este

análisis se emplea como guía el MANUAL DE INSTALACIONES DE GLP CEPSA. De este manual se extrajo la ecuación (2-2)

Para la velocidad se emplean las siguientes expresiones:

$$v_g = 378.04 * \frac{Q_g}{p_g * d_t^2} \quad (2-2)$$

Donde:

v_g = Velocidad del gas (m/s)

Q_g = Flujo de gas (m³/h)

p_g = Presión absoluta del gas por la tubería (bar)

d_t = Diámetro interno de la tubería (m)

Los diámetros externos sugeridos por la norma NCh 927/1 son de 27, 21, 17 o 13 mm, siendo los extremos de rosca de 3/4; 1/2; 3/8; o 1/4, recomendando 1/2 y que cumplan la norma ISO 228. La geometría de las tuberías galvanizadas a comparar se extrajo de la Tabla 2.10.

Tabla 2.10. Geometría normalizada de tuberías de acero

| Designación Nominal | Dimensión Exterior (mm) | Serie Liviana (L) | | Serie Standard (S) | |
|---------------------|-------------------------|-------------------|-------------|--------------------|-------------|
| | | Espesor (mm) | Peso (kg/m) | Espesor (mm) | Peso (kg/m) |
| 1/4" | 13.5 | | | 2.0 | 0.570 |
| 3/8" | 17.2 | | | 2.0 | 0.742 |
| 1/2" | 21.3 | 2.00 | 0.947 | 2.3 | 1.080 |
| 3/4" | 26.9 | 2.00 | 1.228 | 2.3 | 1.390 |
| 1" | 33.7 | 2.60 | 1.980 | 2.9 | 2.200 |
| 1 1/4" | 42.4 | 2.60 | 2.540 | 2.9 | 2.820 |
| 1 1/2" | 48.3 | 2.65 | 2.983 | 2.9 | 3.240 |
| 2" | 60.3 | 2.90 | 4.080 | 3.2 | 4.490 |
| 2 1/2" | 73 | 3.00 | 5.179 | 3.2 | 5.730 |

| | | | | | |
|----|-------|------|-------|-----|--------|
| 3" | 88.9 | 3.20 | 6.720 | 3.6 | 7.550 |
| 4" | 114.3 | 3.60 | 9.750 | 4.0 | 10.800 |
| 5" | 139.7 | | | | |
| 6" | 165.1 | | | | |

Fuente: Catálogo de productos Aceros Arequipa, Diámetros y espesores según Norma ISO 65.

Siguiendo la ecuación (2-2) se determina la velocidad del gas al circular por la tubería de distribución. En la Tabla 2.11 se muestran los resultados de los cálculos.

Tabla 2.11 Velocidad del gas en la tubería para cada diámetro de tubería

| Designación nominal | d_T (mm) | v_g (m/s) |
|---------------------|------------|-------------|
| 1/4" | 9,5 | 0,229 |
| 3/8" | 13,2 | 0,119 |
| 1/2" | 17,3 | 0,069 |
| 3/4" | 22,9 | 0,039 |

Para una tubería de 1/4", cuyo diámetro interior es de 9,5 mm, la velocidad del gas es de 0,229 m/s; para la tubería de 3/8" la velocidad del gas es de 0,119 m/s; para la tubería de 1/2", la velocidad es de 0,069 m/s; finalmente para la tubería de 3/4", la velocidad es de 0,039 m/s.

Para la caída de presión se emplea la fórmula de Renouard para bajas presiones, es decir, menor a 50 mbar.

$$\Delta P = 25076 * \rho_g * L_c * \frac{Q_g^{1,82}}{d_t^{4,82}} \quad (2-3)$$

Donde

ρ_g = Densidad corregida del gas (1.244)

L_t = Longitud de tubería (m)

ΔP = pérdida de presión en la tubería (mbar)

Empleando la ecuación (2-3) se determina la caída de presión en la tubería de distribución.

Los resultados se presentan en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12 Caída de presión en la tubería para cada diámetro de tubería

| Diámetro nominal | d_r (mm) | ΔP (mbar) |
|-------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| 1/4" | 9,5 | $2,63 \cdot 10^{-3}$ |
| 3/8" | 13,2 | $5,39 \cdot 10^{-4}$ |
| 1/2" | 17,3 | $1,46 \cdot 10^{-4}$ |
| 3/4" | 22,9 | $3,79 \cdot 10^{-5}$ |

La Tabla 2.12 muestra la caída de presión en la tubería de distribución para distintos diámetros de tubería. Para una tubería de 1/4", la caída de presión es de $2,63 \cdot 10^{-3}$ mbar; para la tubería de 3/8" la caída de presión es de $5,39 \cdot 10^{-4}$ mbar; para la tubería de 1/2", la caída de presión es de $1,46 \cdot 10^{-4}$ mbar; finalmente para la tubería de 3/4", la caída de presión es de $3,79 \cdot 10^{-5}$ mbar.

Con el análisis realizado de velocidad y caída de presión se determinó que la variación y los parámetros presentan una baja variación por lo que el factor económico prima en la elección de este elemento, es por ello que se propone la configuración presentada en la Figura 2.45.

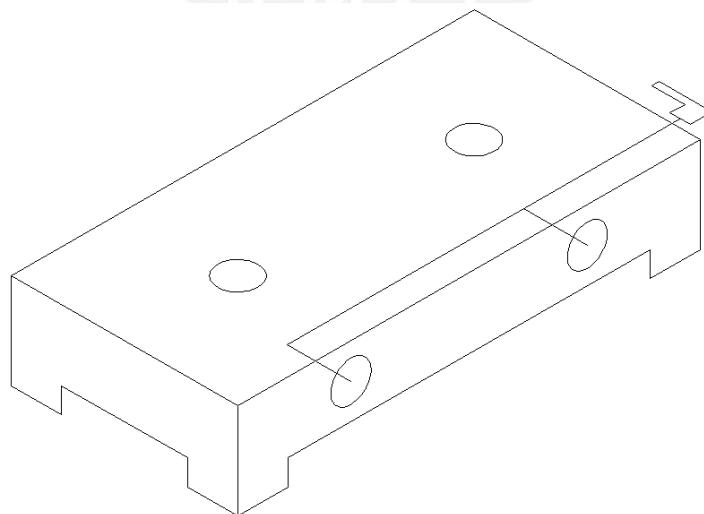


Figura 2.45 Detalle de la nueva posición de la tubería.

La Figura 2.45 presenta una tubería recta, sin el proceso de doblado y con un diámetro mínimo para su correcta operación.

Con los componentes principales de la cocina tipo anafe, evaluados y caracterizados para obtener una alta eficiencia, reducidas emisiones y a un bajo costo, se procede a elaborar un prototipo que incluya cada uno de los componentes que obtuvieron mejores prestaciones en su análisis individual. El análisis y los resultados de la evaluación de este prototipo se desarrollarán y presentarán en el capítulo siguiente.



CAPÍTULO 3.

EVALUACIÓN ENERGÉTICA

Una vez realizado el diseño básico de los componentes de forma independiente, es necesario ensamblar dichos componentes y presentar un prototipo considerando el consumo energético y el aprovechamiento de éste, ya que es de suma importancia para lograr el éxito de mejora.

En este capítulo se realizará el análisis conjunto de los componentes propuestos en el capítulo previo para poder obtener un panorama global del prototipo en lo referido a lo energético.

Empleando los componentes que obtuvieron los mejores resultados parciales en los análisis y cálculos en el capítulo anterior, se propone el siguiente arreglo:

3.1. Evaluación energética del prototipo

Tabla 3.1 Características de la cocina prototipo

| | |
|---|---|
| Soporte (estructura) | Acero inoxidable (nuevas dimensiones) |
| Válvula del quemador (regulador) | Inyector de 0.65 con y regulador con 4 puntos de potencia |
| Mezclador | Modificado |
| Quemador | Modelo TP-05 |
| Tubería de distribución | Acero galvanizado corto |
| Parrilla | 3 puntos (mejorada) |

La Figura 3.1 presenta la cocina prototipo con los componentes optimizados. Como se muestra en la Tabla 3.1, la cocina prototipo comprende un soporte de acero inoxidable con dimensiones recortadas, en el soporte se monta la tubería de distribución recta en el cual se acoplan 2 válvulas con los inyectores de 0,65 mm y que puede regularse en 4 posiciones definidas, también se han colocado 2 mezcladores con el diámetro adecuado y con una zona convergente; sobre estos mezcladores se colocan los 2 quemadores los cuales cuentan con las

tapas según las características del modelo TP-05. Finalmente, sobre el soporte de acero inoxidable se colocan las parrillas circulares de 3 puntos de apoyo.



Figura 3.1 Prototipo de cocina a GLP de alta eficiencia y bajo costo.

En la Figura 3.2 se observa la operación de la cocina prototipo.



Figura 3.2 Operación del prototipo de cocina mejorada.

3.1.1.1. Consumo

El consumo nominal, el consumo reducido y el consumo total de cada quemador de la cocina prototipo se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Consumo de la cocina prototipo

| Consumo térmico | H1 (kW) | H2 (kW) |
|------------------------|----------------|----------------|
| Nominal | 1.54 | 1.54 |
| Reducido | 0.44 | 0.44 |
| Total | 2.98 | |

Luego de la implementación del inyector correcto, el consumo, a llama máxima, ya está dentro del rango del consumo nominal. Además, la determinación del agujero de la válvula reguladora de flujo, proporciona el consumo reducido recomendado. Finalmente, al operar las 2 hornillas en simultáneo, el consumo total no excede en más de 10% de la suma de las potencias.

3.1.1.2. Rendimiento

Tabla 3.3 Rendimiento de la cocina prototipo

| Rendimiento térmico | H1 (%) | H2 (%) |
|----------------------------|---------------|---------------|
| Nominal | 64.1 | 64.1 |

Como parte de los objetivos principales de este documento, el rendimiento final de la cocina anafe es de 64.1%.

3.1.1.3. Ahorro

Para las cocinas tipo anafe que se disponen en el mercado, se determinó el tiempo de operación diario, así como el tiempo de duración de un balón.

De acuerdo a los datos presentados en el capítulo 1 se determina el tiempo promedio diario antes de las modificaciones. Empleando la ecuación (1-2)

$$T_d = \frac{46154 \frac{kJ}{kg} * 11kg}{2 * 1.65kW * 30 \text{ días}} = 1.424 \frac{hr}{\text{día}}$$

Considerando que la energía que emplea una familia promedio durante la operación de una cocina tipo anafe no se altera, es decir, la energía útil utilizada durante la operación de la cocina sigue siendo la misma. Se determina el nuevo tiempo diario:

Partiendo de la ecuación (1-6), se despeja la siguiente relación:

$$R * f_n * t_e = \frac{M * C_{P*} * (T_f - T_i)}{PCI} = cte$$

Por lo que queda definida la constante de la siguiente manera:

$$cte = 0.466 * 2 * 1.05 \frac{L}{min} * 1.424 \frac{hr}{\text{día}} = 3.485 \frac{L}{hr}$$

Ahora se determina el tiempo diario de operación luego de las modificaciones, así como la duración del balón de GLP.

$$T_{dM} = \frac{cte}{2 * f_{cM} * \eta_M} = 1.1 \frac{hr}{\text{día}}$$

$$D_M = \frac{1}{f_{cM} * T_{dM} * \delta} = 41.3 \frac{\text{días}}{11kg}$$

La Tabla 3.4 presentan la comparativa entre la cocina comercial CL-01 y la cocina prototipo, en esta tabla se muestra el rendimiento, el consumo, el tiempo de cocción promedio diario y su autonomía.

Con las mejoras implementadas se produjo una disminución en el consumo, a 0.98 l/min aproximadamente, además la eficiencia aumento hasta 64.1%, esto se traduce en una

reducción del tiempo de cocción diaria promedio de 1.424 horas a 1.11 horas, considerando una operación simultánea de los quemadores. También aumentó la duración del balón de GLP típico de 30 días a 41 días, es decir, un aumento de la autonomía en 36.67%.

Tabla 3.4 Comparativa de la cocina de fábrica vs prototipo.

| Cocina | Rendimiento (%) | Consumo (kW) | Tiempo de cocción diario (horas) | Autonomía (Días) |
|------------------|------------------------|---------------------|---|-------------------------|
| Comercial | 46.6 | 1.65 | 1.4 | 30 |
| Prototipo | 64.1 | 1.54 | 1.1 | 41 |

Utilizando los resultados obtenidos de los ensayos se determina de manera aproximada el consumo anual de GLP por familia, ver Tabla 3.5. Además, en la Tabla 3.6 se determina el ahorro de implementar cocinas con las características de la cocina prototipo a nivel nacional.

Tabla 3.5 Consumo de GLP al año por familia

| Cocina | GLP (kg) | S/ |
|------------------|-----------------|-----------|
| Comercial | 133.8 | 421.56 |
| Prototipo | 97.3 | 306.49 |

* Tomando 4 millones de hogares (Fuente: Ministerio de la Mujer, Resultados expuestos en el V Foro de Aire Limpio, Lima 2011)

** Precio promedio del balón de gas S/. 31.5. (OSINERMING)

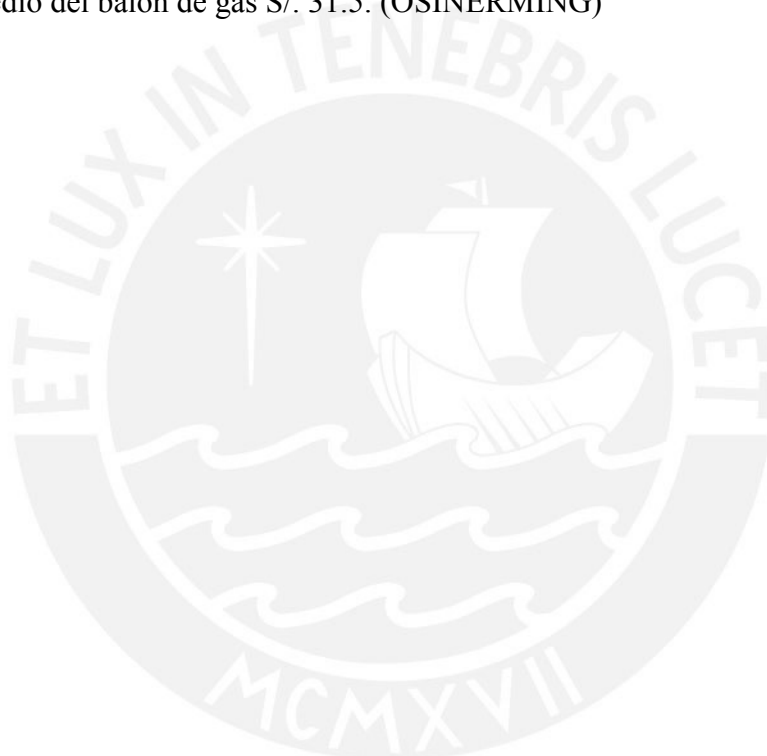
La Tabla 3.6 muestra el ahorro aproximado de implementar las cocinas mejoradas. En cuanto al consumo de GLP se disminuiría en 146 millones de kg lo que representa 460 millones de soles al año.

Tabla 3.6 Consumo de GLP al año a nivel nacional

| Cocina | GLP (Millones kg) | Millones S/ |
|------------------|--------------------------|--------------------|
| Comercial | 535.33 | 1686.24 |
| Prototipo | 389.20 | 1225.96 |
| Reducción | 146.13 | 460.28 |

* Tomando 4 millones de hogares (Fuente: Ministerio de la Mujer, Resultados expuestos en el V Foro de Aire Limpio, Lima 2011)

** Precio promedio del balón de gas S/. 31.5. (OSINERMIN)



CAPÍTULO 4.

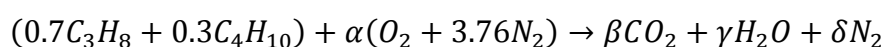
EVALUACIÓN AMBIENTAL

4.1. Introducción

El empleo de combustibles fósiles para la cocción de alimentos en el país ocupa un gran porcentaje y si se le suma que las cocinas domesticas de 2 hornillas que se distribuyen no se encuentran reguladas, se obtiene gran porcentaje de cocinas que no generan una buena combustión, esto incrementa los gases efecto invernadero y dañinos para la salud. Además, debido a las políticas medioambientales que se están tomando a nivel mundial es de suma importancia realizar la evaluación de los productos de combustión, así como verificar que no se presente elementos o componentes que contaminen. Por lo antes mencionado, se desarrollará este capítulo.

En el proceso de combustión se generan productos, como ya se presentó. En una combustión completa se genera CO_2 , H_2O y N_2 , sin embargo, en la realidad se generan más elementos, pero en menor cantidad, algunos de ellos son dañinos para la salud y medio ambiente.

El vapor de agua y el dióxido de carbono CO_2 son gases que contribuyen al efecto invernadero sin embargo para el análisis de este capítulo no se tomara en cuenta el vapor de agua. Producto de la combustión se genera una determinada cantidad de CO_2 , según el (Proyecto de Planificación ante el cambio climático, 2014) se genera 0.15 kg CO_2e (kilogramo de CO_2 equivalente) por cada kWh consumido.



Relación estequiométrica del GLP nacional

Los principales contaminantes que se emiten durante la combustión son el Monóxido de Carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los óxidos de azufre (SO_x), los compuestos orgánicos (hidrocarburos inquemados) y las partículas (hollín).

La cantidad de las emisiones depende de los procesos químicos y físicos, fundamentalmente, la mezcla de aire-combustible debe ser lo más homogénea posible para obtener una combustión completa. Los factores que intervienen en una combustión incompleta son: viciado de aire, composición del gas, la mezcla y las condiciones atmosféricas.

En la nota “Contaminación atmosférica dentro del hogar por estufas y cocinas” publicada en la revista Creces se presenta que, el anhídrido sulfuroso (SO₂) que se desprenda depende de la calidad del combustible, no es un factor dependiente de la combustión.

Los límites permisibles para la calidad del aire recomendados por la EPA (Environmental Protection Agency, USA) son de 80 ug/m³ y la OPS (Organización Panamericana de la Salud) recomienda 100 ug/m³, valores que son sobrepasados en más de 10 veces cuando se mantiene una estufa encendida. [9]

Además, Entre los efectos sobre la salud provocados por una exposición prolongada a las concentraciones ya expuestas se advierte:

- Aumento de la incidencia de bronquitis crónica.
- Predisposición del pulmón para ser más fácilmente atacado por microorganismos.
- El volumen de aire en espiración forzada se ve disminuido.
- Afecta los mecanismos de limpieza de los pulmones, y por lo tanto, las partículas inhaladas permanecen más tiempo en los alvéolos. [9]

El monóxido de carbono (CO). Es un gas altamente tóxico, tiene 220 veces más afinidad con la hemoglobina (Hb) que el oxígeno. La carboxihemoglobina, producto formado, no puede transportar oxígeno; aún más, la presencia de ese compuesto interfiere en la disociación del oxígeno de la oxihemoglobina restante, dificultando así la transferencia de oxígeno a los tejidos. [10]

En la revista Creces también se dice que, la cantidad de CO está estrechamente relacionada con la calidad de la combustión, una mala combustión incrementa la cantidad de CO, esto se aprecia en la coloración rojiza de la llama.

Los límites permisibles recomendados por los distintos organismos se refieren a promedios de 8 horas y son de 8 ppm ($8,9 \text{ mg/m}^3$) para la EPA y de 9 ppm (10 mg/m^3) para la OPS, niveles que al equilibrio provocan una inhibición del 1,5 % de la Hb. [9]

Los efectos sobre la salud están relacionados con el daño que produce el CO en el sistema nervioso central. Se ha podido determinar que la exposición a bajas concentraciones de CO produce una disminución en la velocidad de respuesta a un estímulo, se alteran los límites de detección visual. [9]

Finalmente, en la revista Creces también se dice que, los óxidos de nitrógeno (NO_x). Son de dos tipos: el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2), siendo más tóxico este último.

La cantidad de NO_x que se desprende aumenta al mejorar la calidad de la combustión, de tal forma que una llama azulada desprende más NO_x que una rojiza. [9]

Por todo lo previamente mencionado se hará un análisis de los productos de combustión de la cocina prototipo con la finalidad de presentar no solo un artefacto con alta eficiencia, sino que además no dañe al medio ambiente.

4.2. Evaluación ambiental del prototipo

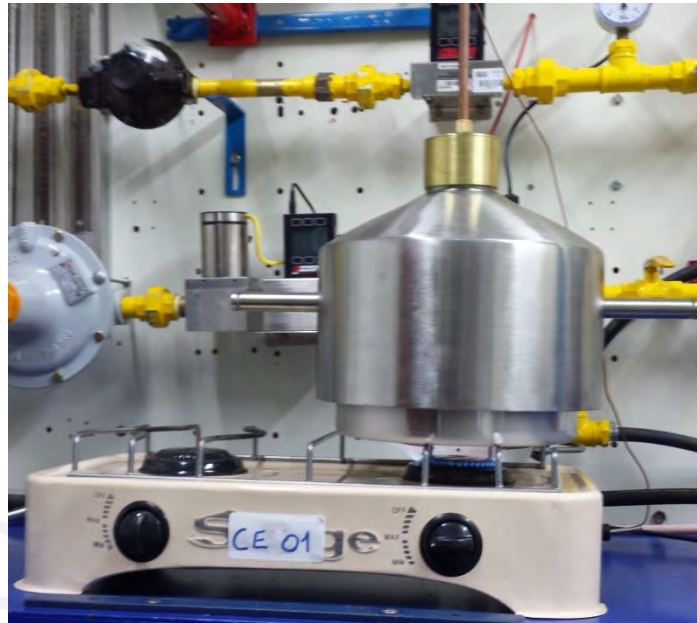


Figura 4.1 Toma de datos de productos de combustión.
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.1 Características de la cocina prototipo

| | |
|---|---|
| Soporte (estructura) | Acero inoxidable (nuevas dimensiones) |
| Válvula del quemador (regulador) | Inyector de 0.65 con y regulador con 4 puntos de potencia |
| Mezclador | Modificado |
| Quemador | Modelo TP-05 |
| Tubería de distribución | Acero galvanizado corto |
| Parrilla | 3 puntos (mejorada) |



Figura 4.2 Prototipo de cocina a GLP de alta eficiencia y bajo costo.

4.2.1.1. Emisiones

Las pruebas de emisiones se realizaron con un analizador de gases modelo KANE9206 QUINTOX, este dispositivo muestra parámetros como la concentración de O₂, CO, NO, NO₂, NO_x, SO₂, C_xH_y, entre otros.

Tabla 4.2 Emisiones de la cocina prototipo

| Elementos | H1 () | H2 () |
|-----------------------------------|---------|---------|
| CO₂ | 50.1 gr | 49.9 gr |
| CO | 19 ppm | 310 ppm |
| SO₂ | 3 ppm | 33 ppm |
| NO_x | 2 ppm | 5 ppm |
| C_xH_y | 16 ppm | 14 ppm |
| CO/CO₂ | 0.0038 | 0.0040 |

Para el nuevo arreglo se aprecia una gran reducción en los componentes de los productos de combustión con lo cual se logró obtener una reducción de CO_N en relación a las cocinas comerciales.

4.2.1.2. Ahorro

Referido al CO₂

El CO₂ es un producto de combustión que depende del gas a emplear, como se presentó en el análisis estequiométrico en el capítulo 2, para reducir este valor es necesario disminuir la cantidad de combustible empleado durante la operación. Para el siguiente análisis se toma como referencia el CO_{2_{ee}} (dióxido de carbono equivalente específico) del GLP nacional con un valor de 0.152 kg/kW-h (SAE PUCP).

La energía consumida por la cocina tipo anafe comercial se determina con su potencia y el tiempo que duró el ensayo:

$$E_i = P_i * t_i = 1.649 * 0.274 = 0.454 \text{ kW} - h$$

Donde:

- E_i = Energía consumida por la cocina
- P_i = potencia del quemador
- t_i = tiempo de ensayo de la cocina

Luego se determina el dióxido de carbono equivalente:

$$CO_{2e} = E_i * CO_{2ee} = 68.945 \text{ gr}$$

Donde:

- CO_{2e} = Dióxido de carbono equivalente
- CO_{2ee} = Dióxido de carbono equivalente específico

Realizando los mismos ensayos con la cocina prototipo se determinó el dióxido de carbono equivalente.

$$CO_{2e} = P * t * e = 50.114 \text{ gr}$$

Respecto de la cantidad de CO_{2e} emitido con la cocina domestica del mercado (CL-01) se produjo una disminución del 27.3% de CO_{2e} .

La Tabla 4.3 presenta un resumen de la concentración de dióxido de carbono equivalente CO_{2e}

Tabla 4.3 Cantidad de CO_2 generados durante la operación de una cocina tipo anafe

| Cocina | Combustión (gr) |
|------------------|------------------------|
| Comercial | 68.9 |
| Prototipo | 50,1 |

Por otro lado, en la Tabla 4.4, se muestra la producción anual de CO₂ por una familia, mientras que en la Tabla 4.5 se presenta la producción anual a nivel nacional de CO₂ para las cocinas comerciales y la cocina prototipo.

Tabla 4.4 Cantidad de CO₂ generados en un año por una familia

| Cocina | CO₂ (kg) |
|------------------|----------------------------|
| Comercial | 130.4 |
| Prototipo | 94.8 |
| Reducción | 35.6 |

De implementarse la cocina prototipo se generaría una reducción de 142 millones de kg de CO₂, esta cantidad representa una disminución del 27.3% de las emisiones de dióxido de carbono, ver Tabla 4.5

Tabla 4.5 Cantidad de CO₂ generados en un año a nivel nacional

| Cocina | CO₂ (Millones kg) |
|------------------|-------------------------------------|
| Comercial | 521.40 |
| Prototipo | 379.08 |
| Reducción | 142.32 |

* Tomando 4 millones de hogares (Fuente: Ministerio de la Mujer, Resultados expuestos en el V Foro de Aire Limpio, Lima 2011)

Como parte de la lucha contra el cambio climático y el calentamiento global, se le asignó un impuesto a la generación de dióxido de carbono. Según SEDENCO₂ para el 2017 el precio de una tonelada de dióxido de carbono es de aproximadamente 5.83 euros. La reducción del dióxido de carbono por la implementación de las cocinas mejoradas equivaldría a un ahorro anual de 3.1 millones de soles a nivel nacional.

Referido al *CO*

El monóxido de carbono es un componente altamente tóxico que se genera por deficiencia en la combustión. Uno de los objetivos de este documento es la reducción de los contaminantes que producen las cocinas domésticas a causa de una ineficiente combustión.

La Tabla 4.6 se muestra el monóxido de carbono generado por las cocinas comerciales y por la cocina prototipo en un año por una familia. En un año una cocina comercial generaría aproximadamente 2.5 kilogramos de CO mientras que con la cocina prototipo el CO generado sería de 360 gramos, esto representa una reducción del 85.6% de las emisiones de CO.

Tabla 4.6 Cantidad de CO generados en un año por una familia

| Cocina | CO (g) |
|------------------|---------------|
| Comercial | 2503 |
| Prototipo | 360.1 |
| Reducción | 2142.9 |

De implementarse la cocina prototipo a nivel nacional, se generaría una reducción de 8.57 millones de kilogramos por año, ver Tabla 4.7.

Tabla 4.7 Cantidad de CO generados en un año a nivel nacional

| Cocina | CO (Millones kg) |
|------------------|-------------------------|
| Comercial | 10.01 |
| Prototipo | 1.44 |
| Reducción | 8.57 |

* Tomando 4 millones de hogares (Fuente: Ministerio de la Mujer, Resultados expuestos en el V Foro de Aire Limpio, Lima 2011)

** precio promedio del balón de gas S/. 31.5. (OSINERMIN)

*** 64% de los hogares está por debajo de los 2000 m.s.n.m.

CAPÍTULO 5.

COSTO DE FABRICACIÓN

Un punto importante para el desarrollo de la tesis, como en todo proyecto de ingeniería, es lograr la mejora de las cocinas tipo anafe sin comprometer un alto costo, es por ello que en el siguiente capítulo se realizara un análisis económico de las configuraciones presentadas en el capítulo 2 para estimar el costo del artefacto.

5.1. Costo de cocinas comerciales

Empleando información sobre los costos por parte de un fabricante nacional de cocinas, se estima cual es el costo de las cocinas comerciales. En la Tabla 5.1 se muestra los costos de cada componente de una cocina pintada., por simplicidad se ha agrupado en 3 secciones, soporte, sistema combustión y parrilla, de la misma manera se realiza para la cocina enlozada (Tabla 5.2) y de acero inoxidable (Tabla 5.3).

Tabla 5.1 Costo de cocina tipo pintada

| Componente | Unidades | Costo/Unidad (S/.) | Costo (S/.) |
|------------------------------|----------|--------------------|-------------|
| Soporte | | | |
| Soporte | 1 | 3 | 3 |
| Pintura | | | 2 |
| Sistema De Combustión | | | |
| Quemadores | 2 | 2 | 4 |
| Mezclador | 2 | 0.4 | 0.8 |
| Válvula | 2 | 2 | 4 |
| Tubería | 1 | 2 | 2 |
| Conector | 1 | 0.7 | 0.7 |
| Perillas | 2 | 0.5 | 1 |
| Parrilla | | | |
| Parrilla | 1 | 3 | 3 |
| Pintura | | | 1 |
| Total | | | 21.5 |

En la Tabla 5.1 se presentan los costos de los elementos que conforman la cocina tipo anafe pintada. Como ya se mencionó, los costos se han agrupado en 3 secciones, el soporte, el

sistema de combustión y la parrilla. En costo de cada elemento incluye el material y la fabricación de manera aproximada.

Tabla 5.2 Costo de cocina tipo enlozada

| Componente | Unidades | Costo/Unidad (S/.) | Costo (S/.) |
|------------------------------|----------|--------------------|-------------|
| Soporte | | | |
| Soporte | 1 | 3 | 3 |
| Pintura | | | 4 |
| Sistema De Combustión | | | |
| Quemadores | 2 | 2 | 4 |
| Mezclador | 2 | 0.4 | 0.8 |
| Válvula | 2 | 2 | 4 |
| Tubería | 1 | 2 | 2 |
| Conector | 1 | 0.7 | 0.7 |
| Perillas | 2 | 0.5 | 1 |
| Parrilla | | | |
| Parrilla | 1 | 3 | 3 |
| Pintura | | | 2 |
| Total | | | 24.5 |

Tabla 5.3 Costo de cocina tipo inoxidable

| Componente | Unidades | Costo/Unidad (S/.) | Costo (S/.) |
|------------------------------|----------|--------------------|-------------|
| Soporte | | | |
| Soporte | 1 | 12 | 12 |
| Pintura | | | |
| Sistema De Combustión | | | |
| Quemadores | 2 | 2 | 4 |
| Mezclador | 2 | 0.4 | 0.8 |
| Válvula | 2 | 2 | 4 |
| Tubería | 1 | 2 | 2 |
| Conector | 1 | 0.7 | 0.7 |
| Perillas | 2 | 0.5 | 1 |
| Parrilla | | | |
| Parrilla | 1 | 3 | 3 |
| Pintura | | | 1 |
| Total | | | 28.5 |

En resumen, la cocina pintada es la más económica, su precio en fabrica es alrededor de los S/. 21 soles mientras que la enlozada y de acero inoxidable están en los S/. 24 y S/. 28 soles

respectivamente. Sin embargo cada arreglo presenta ventajas y desventajas, por citar algunas, la pintura tiende a la degradación como se ilustra en las Figura 5.1 y Figura 5.2 mientras que el enlozado y el acero inoxidable se mantienen. Otro punto importante es el de la temperatura del artefacto, en el capítulo 2 se determinó cualitativamente cuál de los recubrimientos es el que menor perdidas y menor temperatura alcanza luego del ensayo. Determinándose que la cocina de acero inoxidable cuenta con mejores resultados.



Figura 5.1 Deterioro de la pintura luego del primer uso.



Figura 5.2 Desprendimiento de la pintura de la parrilla luego del primer uso.

5.2. Costo de la cocina prototipo

De acuerdo a la información recopilada de las cocinas comerciales, teniendo en cuenta los costos, sus propiedades mecánicas y térmicas, además de considerar únicamente el costo de los materiales y/o materia prima se estimará el costo de cada sección y luego el costo de la cocina prototipo.

En el capítulo 2 se presentaron las dimensiones aproximadas del soporte, de acuerdo a ello se estima el costo de este elemento. Los resultados se muestran en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Costo del material del soporte (acero inoxidable)

| Cocina | Largo (m) | Ancho (m) | Altura (m) | Área Total (m²) | Costo (S/.) |
|------------------|------------------|------------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------|
| Comercial | 0.492 | 0.279 | 0.095 | 0.2838 | 8.87 |
| Prototipo | 0.46 | 0.225 | 0.08 | 0.2131 | 6.66 |

En la Tabla 5.4 se ha analizado el costo únicamente del material, en este caso acero inoxidable, donde se logra un ahorro de S/. 2.21 soles respecto de la configuración comercial.

De la misma manera se determinó el costo de la parrilla comercial y prototipo, ahorrando cerca de S/. 0.70 soles, ver Tabla 5.5.

Tabla 5.5 Costo del material de la parrilla

| Parrilla | | |
|------------------|------------------|--------------------|
| Cocina | Largo (m) | Costo (S/.) |
| Comercial | 2.7 | 1.80 |
| Prototipo | 1.7 | 1.13 |

Finalmente se determinó el costo de la tubería de distribución comercial y prototipo. El ahorro en este caso es de S/. 0.20 soles, ver Tabla 5.6.

Tabla 5.6 Costo del material de la tubería

| Tubería | | |
|------------------|-----------|-------------|
| Cocina | Largo (m) | Costo (S/.) |
| Comercial | 0.6 | 0.70 |
| Prototipo | 0.4 | 0.47 |

Para los demás componentes, a pesar de haberse realizado cambios, el costo de fabricación es el mismo. Por ello el costo de la cocina prototipo queda definida en la Tabla 5.7.



Figura 5.3 Prototipo de cocina a GLP de alta eficiencia y bajo costo.
Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.7 Costo de cocina prototipo propuesta

| Componente | Unidades | Costo/Unidad (S/.) | Costo (S/.) |
|------------------------------|-----------------|---------------------------|--------------------|
| Soporte | | | |
| Soporte | 1 | 10 | 10 |
| Pintura | | | 0 |
| Sistema De Combustión | | | |
| Quemadores | 2 | 2 | 4 |
| Mezclador | 2 | 0.4 | 0.8 |
| Válvula | 2 | 2 | 4 |
| Tubería | 1 | 1.8 | 1.8 |
| Conector | 1 | 0.7 | 0.7 |
| Perillas | 2 | 0.5 | 1 |
| Parrilla | | | |
| Parrilla | 2 | 1.15 | 2.3 |
| Pintura | | | 1 |
| Total | | | 25.6 |

Con las modificaciones realizadas el artefacto bajó su costo a S/. 25.6 soles lo que coloca a la cocina dentro del rango de precios de las cocinas comerciales.

CONCLUSIONES

Del desarrollo del presente documento se concluye lo siguiente:

1. La gran mayoría de las cocinas que se comercializan en el país no cuentan con los requerimientos mínimos exigidos por normas internacionales tales como eficiencia mínima, reducidas emisiones y consumos (nominales y mínimos), esto evidencia, claramente, el poco desarrollo que se les da a estos artefactos de uso masivo por parte de los fabricantes además del poco estudio realizado para las condiciones de nuestro país.
2. La cocina a pesar de ser un artefacto de uso masivo, no se emplea de la mejor manera. El ahorro de combustible y la eficiencia del equipo radica también en su modo de empleo. Una cocina puede tener eficiencia alrededor del 48% pero puede llegar hasta los 60% (para la Ciudad de Lima) sin necesidad de realizar cambios, solo regulando la potencia del quemador (perilla).
3. Cada componente de cocina cumple un papel importante, sin embargo, algunos tienen un mayor impacto en la eficiencia que otros, por ejemplo, se puede determinar el diámetro del inyector y la geometría del mezclador, pero sin el adecuado quemador, no se tendrá la mejor eficiencia y hasta una combustión completa con bajos contenidos de contaminantes. Esto se pasa al campo de la transferencia de calor, por ello un factor también relevante es la altura de la parrilla que al alejarse considerablemente de la olla se generaba una disminución de la eficiencia, pasando de 56.7% a 42% (para la Ciudad de Lima) con una altura de 1 a 6 centímetros, respectivamente.

4. Es ya sabido que las cocinas convencionales tienen eficiencias bajas, alrededor de 46%, debido a la gran cantidad de calor que se pierde entre la parrilla, ambiente y soporte de la cocina. Esto se verificó cuando se midió las temperaturas en la parrilla, donde se alcanzaron temperaturas de hasta 400°C, esto, sumado a las características de térmicas de los materiales empleados, permite una mayor transferencia de calor a través de la parrilla.
5. Hoy en día las normas ambientales se están tornando más exigentes, máximo permitido de 0.1% de CO_n , y se pudo apreciar durante los ensayos la enorme brecha que se tiene al sobrepasar casi en 3 veces (2.83) el límite de CO_n exigido por la norma NCh927/1.Of97, modificada el 2001.
6. Es posible alcanzar altas eficiencias con cocinas domésticas para la Ciudad de Lima, lo que se buscó durante el desarrollo de este documento. Alcanzando eficiencia del 65%. Sin embargo, el dato más resaltante para un consumidor, es el de haber alcanzado extender la duración de un balón de gas (10 kg) 10 días, esto implica también un menor tiempo de cocción diario, de 1.3 a 1 hora, y menor cantidad de gases efecto invernadero, reducción del 27% de CO_2 , y contaminantes.

RECOMENDACIONES

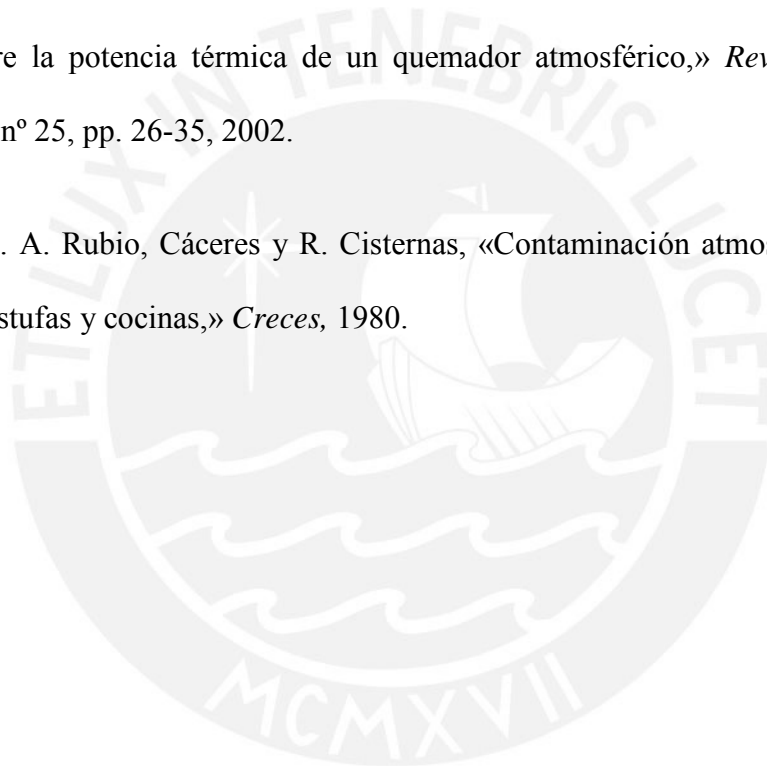
- Se recomienda presentar una propuesta de Norma Técnica Nacional para la adecuada regulación de los artefactos de cocción acorde con la realidad del país y con los requerimientos de los hogares.
- Es importante seguir investigando sobre el impacto que tiene algunos componentes de la cocina sobre la eficiencia de esta, así como el desarrollo empírico de las propuestas ya que se notó una diferencia entre lo teórico y la parte experimental de trabajo, sobre todo en lo concerniente a la cámara de mezcla y quemador.
- Muchas de las propiedades de la mezcla del GLP nacional no están definidas, por ello es de suma importancia para investigaciones posteriores realizar los ensayos correspondientes para determinar todos los parámetros de dicha mezcla para poder obtener una aproximación más cercana cuando se realizan ciertos cálculos.
- Considerando que la tercera parte de la población nacional se encuentra ubicada a más de 2000 msnm se debería realizar un estudio similar al efectuado para cocinas operando sobre esa altitud.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. A. H. Martín, «Especificaciones técnicas CONAIF-SEDIGAS para la certificación de instaladores de gas. Materias comunes Tipos A, B y C,» 2008.
- [2] O. S. d. l. i. e. e. y. m. (OSINERGMIN), «encuesta residencial de uso y consumo de energía,» 2013.
- [3] J. A. Álvarez Olivares, «Diseño y evaluación experimental de mezcladores aire-gas combustible para un quemador de premezcla doméstico de 1.7 kW,» Lima, 2016.
- [4] Yamid Alberto Carranza Sánchez y Andrés Felipe Vill, «Estudio sobre la influencia de la potencia calorífica del quemador y el tipo de recipiente en la eficiencia de cocción a nivel residencial,» Pereira, 2012.
- [5] H. Jones, The Application of Combustion Principles to Domestic Gas Burner Design, London, 89.
- [6] D. Fulford, «Biogas Stove Design,» 1996.
- [7] SEDIGAS, «TEMA 6: combustión de los aparatos de gas,» 2011.
- [8] J. . F. Agudelo Gómez y W. J. Salinas Blanco, Estudio teórico-experimental de quemadores de premezcla con aire inductor, para su aplicación a la pequeña y mediana industria en colombia (Tesis de pregrado), Bucaramanga, 2010.

- [9] «Contaminación atmosférica dentro del hogar por estufas y cocinas,» *Creces*, 1980.
- [10] K. Bertram, M. Susan y T. Anthony, *Farmacología básica y clínica*, México: Mc Graw-Hill, 2010.
- [11] I. N. D. E. E. I. (INEI), «ENCUESTA NACIONAL DE USO DEL TIEMPO,» Lima, 2010.
- [12] A. D. González, «comparación de energías y gases de efecto invernadero en calentamiento de agua para cocción de alimentos con electricidad y gas natural,» 2010.
- [13] A. D. González, «ENERGÍA Y GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL CONSUMO DE ALIMENTOS EN LOS HOGARES: INCIDENCIA DE LA COCCIÓN,» 2011.
- [14] C. E. Baukal, *Industrial burners handbook*, CRC Press, 2004.
- [15] J. E. L. Sopena, «Manual de instalaciones de GLP,» 2001.
- [16] A. A. A. ARRIETA, «FENÓMENOS DE COMBUSTIÓN EN LLAMAS DE PREMEZCLA,» MEDELLÍN, 2009.
- [17] M. D. E. Y. MINAS, «Elaboración de Proyectos de Guías de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético,» 2008.
- [18] D. A. F. Orrego, «Velocidad de Deflagración: Importancia en el estudio de la combustión,».

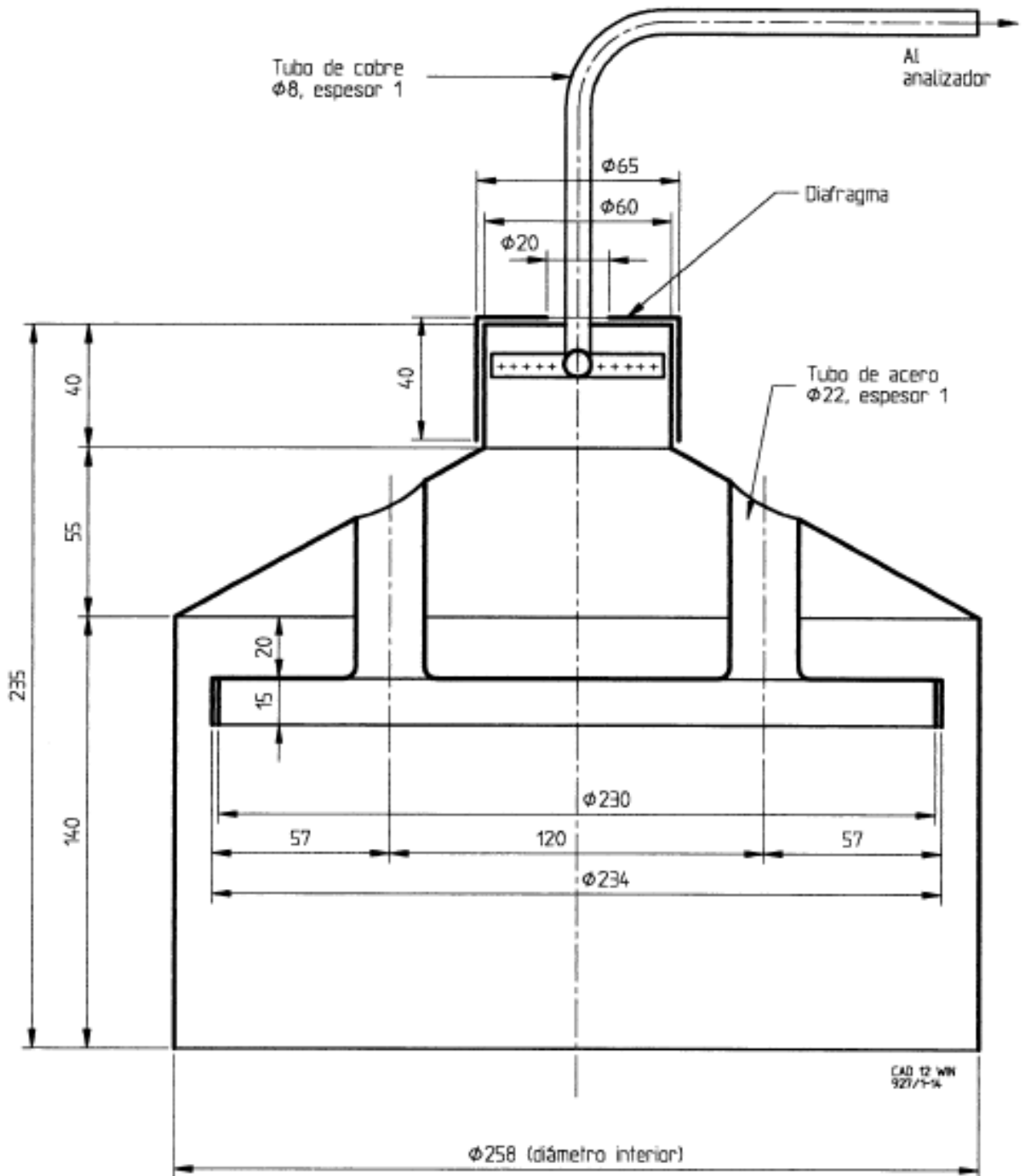
- [19] F. D. Cúñez benal cazar, «Selección y fabricación en fundición gris de dos tipos de quemadores industriales a gas,» Quito, 2012.
- [20] F. Rojas Chávez, F. Jiménez Ugarte y A. Álvarez Olivares, «Análisis de mezcladores Aire-gas combustible en un quemador de premezcla doméstico,» Guayaquil, 2015.
- [21] A. A. Arrieta, J. R. Agudelo y J. Cortés, «Verificación experimental del efecto de la altitud sobre la potencia térmica de un quemador atmosférico,» *Revista Facultad de Ingeniería*, n° 25, pp. 26-35, 2002.
- [22] E. Lissi, M. A. Rubio, Cáceres y R. Cisternas, «Contaminación atmosférica dentro del hogar por estufas y cocinas,» *Creces*, 1980.



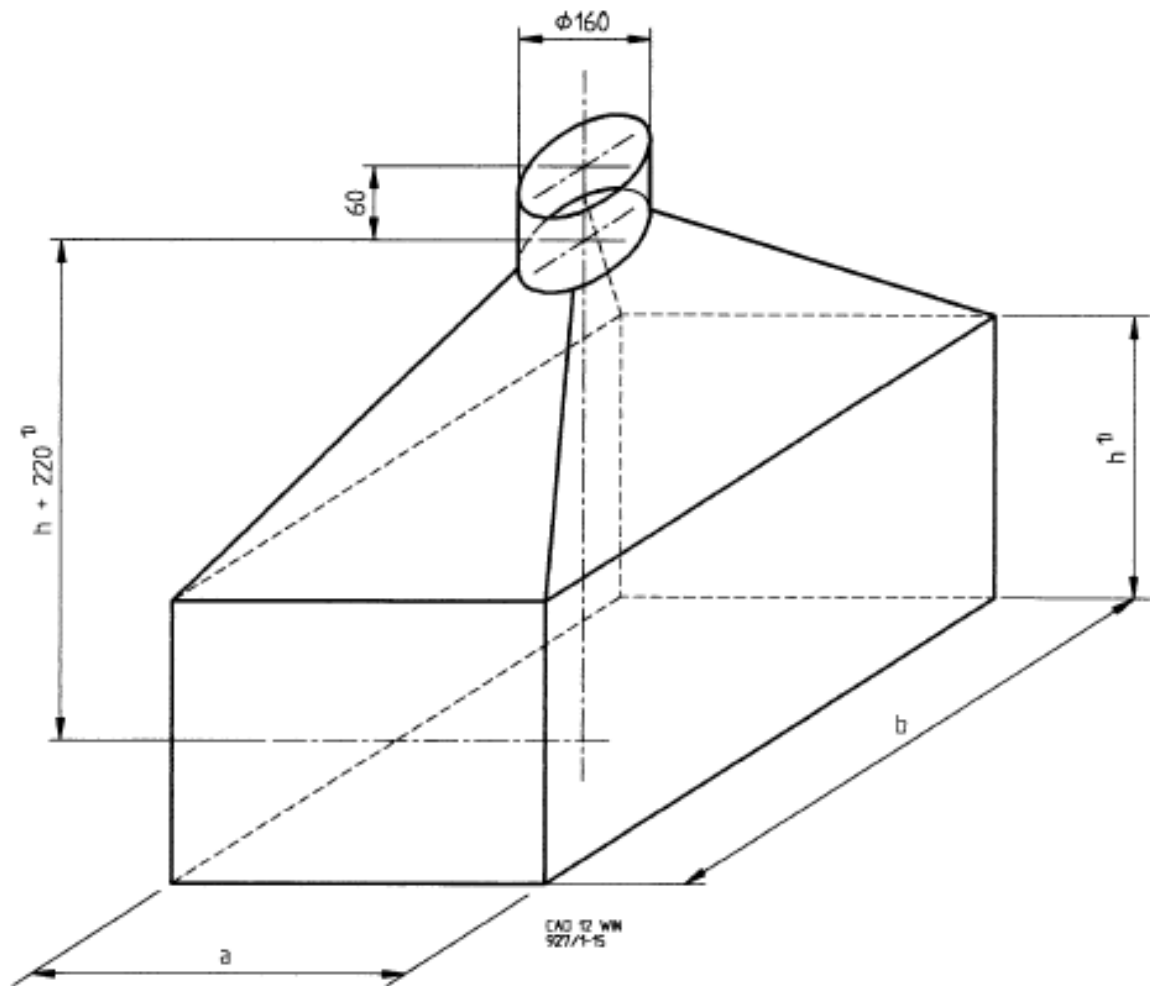


Anexo 2 Dispositivo de ensayo de la combustión de cada quemador

Dimensiones en milímetros



Anexo 3 Dispositivo de ensayo de la combustión para todos los quemadores en simultaneo



1) $h > 320$, para adaptar el dispositivo al artefacto que se ensaya.

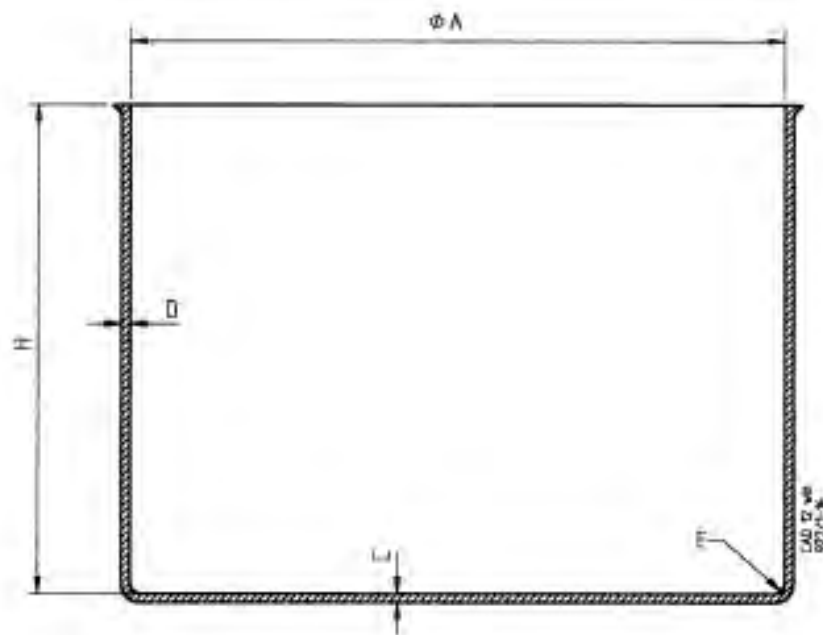
Dimensiones en milímetros

| | | | | | | |
|----------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|
| a | 500 | 580 | 680 | 710 | 630 | 790 |
| b | 600 | 700 | 680 | 780 | 1 140 | 1 000 |

Las dimensiones "a" y "b" del dispositivo de toma de muestras se eligen siguiendo las indicaciones de 7.3.6.2.2

A título indicativo, los seis dispositivos cuyas dimensiones se dan aquí, cubren la mayoría de los casos que puedan presentarse

Anexo 4 Características de los recipientes para los ensayos de rendimiento



- A: Diámetro interior, medido en la parte superior
 H: Altura interior
 C: Espesor del fondo
 D: Espesor del costado
 E: Radio de curvatura

| Dimensiones | Unidad | Designación del recipiente | | | | | | | | | | | | Tolerancia |
|--------------------------------|-----------------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|------------|
| | | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | |
| A | mm | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 240 | 260 | 280 | 300 | 320 | 340 | ± 1% |
| H | mm | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 | ± 1% |
| C _{sup} | mm | 1,6 | 1,6 | 1,8 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | |
| D _{mm} | mm | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | |
| E | mm | 2 | 2 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 3 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 4 | + 0,5 0 |
| Superficie horizontal de fondo | cm ² | 113 | 154 | 201 | 254 | 314 | 380 | 452 | 531 | 615 | 707 | 804 | 907 | |
| Masa | g | 220 | 270 | 340 | 440 | 540 | 680 | 800 | 965 | 1 130 | 1 350 | 1 620 | 1 800 | ± 5% |
| Masa de la tapa *) | g | 58 | 70 | 86 | 105 | 125 | 149 | 177 | 208 | 290 | 323 | 360 | 402 | |

*) Masa calculada, para tapa de aluminio sin asas ni manillas, a manera de orientación.
 $d_M = 2,700 \text{ kg/m}^3$.

Anexo 5 Tamaño de recipiente y masa de agua correspondiente a la potencia de quemador para los ensayos de rendimiento

| Diámetro interior, mm | Consumo con PCS, kW | Consumo con PCI, kW | Masa de agua, kg |
|------------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 160 | 1,05 | 0,94 | 1,4 |
| 180 | 1,33 | 1,20 | 2,0 |
| 200 | 1,65 | 1,48 | 2,8 |
| 220 | 1,99 | 1,79 | 3,7 |
| 240 | 2,37 | 2,13 | 4,8 |
| 260 | 2,78 | 2,50 | 6,1 |
| 280 | 3,22 | 2,90 | 7,7 |
| 300 | 3,70 | 3,33 | 9,4 |
| 320 | 4,20 | 3,78 | 11,4 |

