

# **UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INGENIERÍA QUÍMICA, INGENIERÍA PETROQUÍMICA, INGENIERÍA AMBIENTAL E INGENIERÍA DE ALIMENTOS.**



**PROYECTO DE GRADO PRESENTADO POR:**

**Weymar Michel Ciña Gomez**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**TÍTULO DEL PROYECTO**

**“DETERMINACIÓN DE LINEA BASE DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO Y EMISIONES EN COCINAS DOMÉSTICAS A GN y GLP EN TRES REGIONES REPRESENTATIVAS DE BOLIVIA”**

**TUTOR: Ing. Marcelo Gorritty Portillo**

**LA PAZ- BOLIVIA**

**2019**



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.**

**LICENCIA DE USO**

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

**TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Ramiro y Elizabeth, que a lo largo del tiempo siempre me brindaron su apoyo incondicional, son un ejemplo para continuar y seguir adelante.

A mis hermanos Edson y Franklin que con su compañía fortalecen mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

Principalmente a Dios, por permitirme cumplir esta meta trazada ya que fue mi fuerza y guía, para lograr este propósito.

A mis papás por el apoyo incondicional que me brindaron al cabo de todo este tiempo.

A mi familia por el apoyo y cariño, por estar a mi lado.

Al Ing. Marcelo Gorrity Portillo, por su gran apoyo, paciencia, enseñanza y amistad que me brindo durante la realización de este trabajo.

Al Centro de Pruebas de Cocinas-CPC, por acogerme y brindarme las herramientas necesarias para el desarrollo del presente proyecto.

Agradecer a todos los docentes Ingenieros, quienes contribuyeron a la excelente formación de mi persona en la rama de la ingeniería.

Finalmente a todos mis amigos del CPC, quienes me brindaron su apoyo en cada momento y pudimos compartir grandes momentos.

## RESUMEN

Bolivia, es un país en el cual la demanda de combustibles fósiles en el sector doméstico se ha incrementado sostenidamente en los últimos años y se hace necesario el desarrollo de estudios encaminados a regular sus usos y aplicaciones en aparatos domésticos que usan estos combustibles con el propósito de mejorar la eficiencia energética en su uso, así como la seguridad y salud de la población.

Los combustibles fósiles son la fuente de energía primaria más utilizadas por las sociedades modernas. La combustión de GN y GLP puede llegar a producir efectos adversos para el ambiente; por tanto el uso de cocinas domésticas a gas debe estar normalizado para garantizar la calidad del producto. Para considerar que estos aparatos domésticos cumplan con las condiciones óptimas, se debe demostrar realizando estudios de evaluación de su desempeño energético, y emisiones; condiciones que pueden ser evaluadas mediante procedimientos establecidos en Normativas Internacionales, en la actualidad nuestro país no cuenta con una Normativa referente a estudios de evaluación para cocinas a gas.

Debido a la importancia de poder contar con una Normativa para el ámbito nacional referente a la evaluación de desempeño energético y emisiones en cocinas domesticas a gas, el presente proyecto tiene como objetivo el desarrollo de una línea base que cuantifique el desempeño energético y las emisiones de cocinas domesticas a gas en diferentes condiciones climáticas presentes en el país.

Los estudios de evaluación de desempeño energético y emisiones de cocinas domesticas a gas empleando GN y GLP, fueron desarrollados satisfactoriamente en tres departamentos del eje central de Bolivia, utilizando para cada evaluación metodologías ya establecidas en normas internacionales, cómo también equipos y materiales del Centro de Pruebas de Cocinas (CPC), perteneciente al IIDEPROQ (UMSA).

Para el desarrollo de línea base, se han evaluado dos factores que influyen en los resultados obtenidos, como ser: altitud que del lugar de estudio y el tipo de cocina; mediante un análisis estadístico de diseño factorial, se demostró que el factor tipo de cocina, tiene la mayor influencia en el desempeño energético mientras que el factor altitud, presenta mayor efecto en las emisiones atmosféricas.

Al mismo tiempo se realizó la comparación de los límites permisibles de normas identificadas con los valores obtenidos de las evaluaciones. Estos resultados son considerados como aporte base para el desarrollo de una posterior normativa nacional y serán datos referenciales hacia la comunidad internacional del comportamiento de estos aparatos domésticos a nuestras condiciones climáticas.

## **ABSTRACT**

Bolivia, is a country in which the demand of fossil fuels in the domestic sector has increased steadily in recent years and it is necessary to develop studies aimed at regulating their uses and applications in equipment and domestic appliances that use these fuels with the purpose of improving energy efficiency in its use as well as the safety and health of the population.

Fossil fuels are the primary energy source most used by modern societies. The combustion of GN and LPG can produce adverse effects for the environment; therefore, the use of domestic gas cookers must be standardized to guarantee the quality of the product. In order to consider that these domestic appliances comply with the optimal conditions, it must be demonstrated by carrying out evaluation studies of their energy performance and emissions; conditions that can be evaluated by means of procedures established in International Regulations, at present our country does not have a norm regarding evaluation studies for gas cookers.

Due to the importance of having a Regulation for the national scope regarding the evaluation of energy performance and emissions in domestic gas stoves, this project aims to develop a baseline that quantifies the energy performance and emissions of gas domestic kitchens in different climatic conditions present in the country.

The evaluation studies of energy performance and emissions of domestic gas stoves using GN and LPG, were successfully developed in three departments of the central axis of Bolivia, using for each evaluation methodologies already established in international standards, as well as equipment and materials of the Center of Stove Testing (CPC), belonging to the IIDEPROQ (UMSA)

For the development of the baseline, two factors that influence the results obtained have been evaluated, such as: altitude of the study site and type of kitchen; by means of a statistical analysis of factorial design, it was demonstrated that the kitchen type factor has the greatest influence on energy performance while the altitude factor has the greatest effect on atmospheric emissions.

At the same time, the comparison of the permissible limits of norms identified with the values obtained from the evaluations was made. These results are considered as a base contribution for the development of a later national regulation and will be referential data towards the international community of the behavior of these domestic appliances to our climatic conditions.

## ACRÓNIMOS

**GLP** = Gas Licuado de Petróleo

**GN** = Gas Natural

**YPFB** = Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos

**ANH** = Agencia Nacional de Hidrocarburos

**TCF** = Trillones de Pies Cúbicos

**MMBbl** = Millones de Barriles de Petróleo

**IBNORCA** = Instituto Boliviano de Normalización y Calidad

**NOM** = Norma Oficial de México

**NAG** = Norma Argentina

**NCH** = Norma Oficial de Chile

**UMSA** = Universidad Mayor de San Andrés

**IIDEPROQ** = Instituto de Investigación de Desarrollo de Procesos Químicos

**ENDEV** = Energía, Desarrollo y Vida

**GIZ** = Cooperación Alemana

**GACC** = Alianza Global para Estufas Limpias

**CPC** = Centro e Pruebas de Cocinas

**WBT** = Prueba de Hervor de Agua

**CCT** = Prueba controlada de cocinado

**KPT** = Prueba de Rendimiento de la cocina

**NB** = Norma Boliviana

**CO** = monóxido de Carbono

**CO<sub>2</sub>** = Dióxido de Carbono

**CH<sub>4</sub>** = metano

**QE** = Quemador estándar

**QS** = Quemador súper

**PCS** = Poder Calorífico Superior

**PCI** = Poder Calorífico Inferior

**LII** = Límite inferior de Inflamabilidad

**LSI** = Límite superior de Inflamabilidad

**LIE** = Límite inferior de Explosividad

**LSE** = Limite Superior de Explosividad

**OSHA** = Administración de Seguridad y Salud Ocupacional

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.1.1. Centro de Pruebas de Cocinas (CPC).....	2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.3.1. Justificación técnica.....	4
1.3.2. Justificación económica.....	4
1.3.3. Justificación social.....	4
1.3.4. Justificación ambiental.....	4
1.4. OBJETIVOS.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>6</b>
2.1. Combustibles fósiles.....	6
2.1.1. Cadena productiva de hidrocarburos.....	6
2.1.2. Gas Licuado de Petróleo.....	12
2.1.3. Gas Natural.....	12
2.1.4. Propiedades del GN y GLP.....	13
2.1.4.1. Densidad relativa.....	13
2.1.4.2. Poder Calorífico.....	13
2.1.4.3. Calor específico.....	14
2.2. Potencial hidrocarburífero en Bolivia.....	14
2.2.1. Producción de energía primaria en Bolivia.....	15
2.2.2. Combustibles para cocinar en los hogares de Bolivia.....	16
2.3. Combustión.....	18
2.3.1. Parámetros de combustión.....	19
2.3.1.1. Aire teórico.....	19
2.3.1.2. Exceso de aire.....	19
2.3.1.3. Relación aire-combustible.....	20
2.3.2. Tipos de combustión.....	20
2.3.2.1. Combustión completa.....	20
2.3.2.2. Combustión incompleta.....	20
2.3.3. Variación de la composición química en la atmósfera.....	20
2.3.4. Efectos de la altura en el proceso de combustión.....	21

2.3.4.1.	Ley de la distribución barométrica .....	21
2.4.	Condiciones límites para que se produzca la llama .....	24
2.4.1.	Límites de inflamabilidad .....	24
2.4.2.	Límites de presión.....	24
2.4.3.	Temperatura de la llama.....	24
2.5.	Eficiencia energética .....	25
2.6.	Aparato domestico de cocción a gas .....	25
2.6.1.	Líneas de gas.....	26
2.6.2.	Sistema de control .....	26
2.6.3.	Sistema de encendido.....	26
2.6.4.	Quemadores .....	26
2.7.	Quemadores atmosféricos.....	28
2.7.1.	Quemador de llama blanca.....	28
2.7.2.	Quemadores de llama azul.....	29
2.7.3.	Quemadores infrarrojos: .....	31
2.8.	Problemas frecuentes en Sistema Tubo Venturi de una cocina a gas.....	32
2.8.1.	Puntas amarillas.....	32
2.8.2.	Fugas por descentramiento en la admisión de aire primario .....	32
2.8.3.	Descentramiento entre tubos mezcladores y quemadores .....	33
2.8.4.	Corrosión intensa en ambientes ligeramente salinos .....	33
2.8.5.	Difícil regulación de aire primario.....	33
2.9.	Contaminación del aire interior .....	33
2.9.1.	Monóxido de carbono .....	33
2.10.	Análisis estadístico .....	34
2.10.1.	Prueba de hipótesis .....	34
2.10.2.	Diseño experimental.....	34
2.10.2.1.	Diseño factorial.....	35
2.10.2.2.	Efecto principal y efecto de interacción.....	35
2.10.2.3.	Diseños factoriales $2^k$ .....	35
<b>CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA Y RESULTADOS.....</b>		<b>36</b>
3.1.	Describir procedimientos de determinación de desempeño energético y emisiones para cocinas domesticas a gas; en base a normativas internacionales e identificar los sitios geográficos óptimos donde se desarrollaran las pruebas de evaluación. ....	36
3.1.1.	Normativas Internacionales de aparatos de cocción .....	36
3.1.2.	Procedimientos para la determinación de desempeño energético y emisiones .....	37
3.1.2.1.	Capacidad térmica .....	37

3.1.2.2.	Eficiencia térmica .....	41
3.1.2.3.	Combustión.....	46
3.1.2.	Identificación de los lugares óptimos de evaluación de cocinas a gas .....	51
3.2.	Analizar la influencia y efecto de factores externos e internos sobre las métricas de evaluación del desempeño energético y emisiones para cocinas domesticas a gas en los sitios identificados. ....	53
3.2.1.	Diseño factorial para Capacidad térmica empleando GN .....	55
3.2.2.	Diseño factorial para Eficiencia térmica empleando GN .....	56
3.2.3.	Diseño factorial para Combustión empleando GN .....	57
3.2.4.	Diseño factorial para Capacidad térmica empleando GLP .....	59
3.2.5.	Diseño factorial para Eficiencia térmica empleando GLP .....	60
3.2.6.	Diseño factorial para Combustión empleando GLP .....	61
3.2.7.	Determinación de modelos de respuesta .....	62
3.2.7.1.	Modelos de respuesta para el Gas Natural .....	62
3.2.7.2.	Modelo de respuesta para el Gas Licuado de Petróleo.....	63
3.3.	Determinar una línea base de desempeño energético y emisiones para cocinas domésticas a gas en diferentes condiciones geográficas para análisis y comparación.....	63
3.3.1.	Análisis de influencia del diámetro interno de mangueras de gas en cocinas domésticas. .	64
3.3.1.1.	Análisis de influencia del diámetro interno de mangueras de gas en la Cocina doméstica “tipo 1” .....	64
3.3.1.2.	Análisis de influencia del diámetro interno de mangueras de gas en la Cocina doméstica “tipo 2” .....	65
3.3.2.	Realizar las pruebas de evaluación del desempeño energético y emisiones de cocinas domesticas a gas en diferentes regiones de nuestro país.....	66
3.3.2.1.	Determinación de la presión barométrica de los lugares donde se desarrolló las evaluaciones.....	69
3.3.2.2.	Análisis de desempeño energético y emisiones de la Cocina tipo 1 empleando GN y GLP .....	72
3.3.2.3.	Análisis de desempeño energético y emisiones de la Cocina tipo 2 empleando GN y GLP .....	82
3.4.	Comparar los resultados obtenidos de las evaluaciones de indicadores de desempeño energético y emisiones, con límites permisibles referenciales de Normativas Internacionales vigentes de Latinoamérica. ....	92
3.4.1.	Comparación de valores obtenidos con valores de norma base para Capacidad térmica empleando GN y GLP .....	93
3.4.2.	Comparación de valores obtenidos con valores de norma base para Eficiencia térmica empleando GN y GLP .....	94
3.4.3.	Comparación de valores obtenidos con valores de norma base para Combustión empleando GN y GLP.....	96
3.4.4.	Estudio de optimización de la cocina tipo 2-Quemador estándar .....	100
<b>CAPITULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>102</b>

4.1. Conclusiones .....	102
4.2. Recomendaciones .....	103
<b>5.BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>104</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.1.</b> Equipos y materiales que fueron empleados para realizar la prueba de capacidad térmica ..	37
<b>Tabla 3.2.</b> Equipos y materiales que fueron empleados para realizar la prueba de eficiencia térmica ....	41
<b>Tabla 3.3.</b> Equipos y materiales para realizar pruebas de combustión .....	46
<b>Tabla 3.4.</b> Regiones de Bolivia.....	51
<b>Tabla 3.5.</b> Cantidad promedio de Gas Licuado de petróleo Comercializado en Bolivia.....	51
<b>Tabla 3.6.</b> Volumen comercializado en el sector doméstico de GN en Bolivia en MPC .....	52
<b>Tabla 3.7.</b> Lugares identificados para la evaluación de cocinas a gas.....	52
<b>Tabla 3.8.</b> Niveles de los factores de estudio .....	53
<b>Tabla 3.9.</b> Matriz experimental de combinación diseño $2^2$ -GN- Quemador estándar .....	55
<b>Tabla 3.10.</b> Matriz experimental de combinación diseño $2^2$ - GLP- Quemador estándar. ....	58
<b>Tabla 3.11.</b> Flujo volumétrico promedio de los quemadores para Cocina tipo 1 .....	64
<b>Tabla 3.12.</b> Flujo volumétrico promedio de los quemadores para Cocina tipo 2.....	65
<b>Tabla 3.13.</b> Gravedad de las ciudades donde se desarrolló las evaluaciones de cocinas a gas .....	70
<b>Tabla 3.14.</b> Presión atmosférica de los lugares de evaluación para cocinas a gas .....	70
<b>Tabla 3.15.</b> Valores determinados de Capacidad térmica de la cocina doméstica Tipo 1-GN .....	72
<b>Tabla 3.16.</b> Medias de Capacidad térmica en $(kJ/h)$ con IC del 95 %-Cocina tipo 1-GN.....	72
<b>Tabla 3.17.</b> Comparación de medias en $(kJ/h)$ por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%- Cocina tipo 1-GN.....	72
<b>Tabla 3.18.</b> Valores determinados de Capacidad térmica de la cocina doméstica Tipo 1-GLP .....	73
<b>Tabla 3.19.</b> Medias de Capacidad térmica $(kJ/h)$ con IC del 95 %-Cocina tipo 1-GLP.....	74
<b>Tabla 3.20.</b> Comparación de medias por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-GLP ..	74
<b>Tabla 3.21.</b> Valores determinados de Eficiencia térmica de la cocina doméstica Tipo 1-GN .....	75
<b>Tabla 3.22.</b> Medias de Eficiencia térmica en % con un IC del 95 %-Cocina tipo 1-GN .....	75
<b>Tabla 3.23.</b> Comparación de medias por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-GN ....	75
<b>Tabla 3.24.</b> Valores determinados de Eficiencia térmica de la cocina doméstica Tipo 1-GLP .....	76
<b>Tabla 3.25.</b> Medias de Eficiencia térmica en % con un IC del 95 %-Cocina tipo 1-GLP.....	77
<b>Tabla 3.26.</b> Comparación de medias por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-GLP ..	77
<b>Tabla 3.27.</b> Valores determinados de Combustión de la cocina doméstica Tipo 1-GN .....	78
<b>Tabla 3.28.</b> Medias de Combustión con IC del 95 %-Cocina tipo 1-GN .....	78
<b>Tabla 3.29.</b> Comparación de medias de Combustión por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-Quemador estándar .....	78
<b>Tabla 3.30.</b> Comparación de medias de Combustión por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-Quemador Súper .....	78
<b>Tabla 3.31.</b> Valores determinados de Combustión de la cocina doméstica Tipo 1-GLP .....	80
<b>Tabla 3.32.</b> Medias de Combustión con IC del 95 %-Cocina tipo 1-GLP .....	80

<b>Tabla 3.33.</b> Comparación de medias de Combustión por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-Q. estándar-GLP .....	80
<b>Tabla 3.34.</b> Comparación de medias de Combustión por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-Q. Súper-GLP .....	80
<b>Tabla 3.35.</b> Valores determinados de Capacidad térmica para la Cocina doméstica Tipo 2-GN .....	82
<b>Tabla 3.36.</b> Medias de Capacidad térmica con IC del 95 %-Cocina tipo 2-GN .....	82
<b>Tabla 3.37.</b> Comparación de medias de Capacidad térmica por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-GN.....	82
<b>Tabla 3.38.</b> Valores determinados de Capacidad térmica para la Cocina doméstica Tipo 2-GLP .....	83
<b>Tabla 3.39.</b> Medias de Capacidad térmica con IC del 95 %-Cocina tipo 2-GLP .....	83
<b>Tabla 3.40.</b> Comparación de medias de Capacidad térmica por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-Q. estándar-GLP.....	84
<b>Tabla 3.41.</b> Valores determinados de Eficiencia térmica para la Cocina doméstica Tipo 2-GN .....	84
<b>Tabla 3.42.</b> Medias de Eficiencia térmica con IC del 95 %-Cocina tipo 2-GN .....	85
<b>Tabla 3.43.</b> Comparación de medias de Eficiencia térmica por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-GN.....	85
<b>Tabla 3.44.</b> Valores determinados de Eficiencia térmica para la Cocina doméstica Tipo 2-GLP .....	86
<b>Tabla 3.45.</b> Medias de Eficiencia térmica con IC del 95 %-Cocina tipo 2-GLP .....	86
<b>Tabla 3.46.</b> Comparación de medias de Eficiencia térmica por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-GLP .....	86
<b>Tabla 3.47.</b> Valores determinados de Combustión para la Cocina doméstica Tipo 2-GN-QE.....	87
<b>Tabla 3.48.</b> Valores determinados de Combustión para la Cocina doméstica Tipo 2-GN-QS.....	87
<b>Tabla 3.49.</b> Medias de Combustión con IC del 95 %-Cocina tipo 2-QE-GN.....	88
<b>Tabla 3.50.</b> Medias de Combustión con IC del 95 %-Cocina tipo 2-QS-GN.....	88
<b>Tabla 3.51.</b> Comparación de medias de Combustión por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-Q. estándar-GN .....	88
<b>Tabla 3.52.</b> Comparación de medias de Combustión por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-Q. súper-GN .....	88
<b>Tabla 3.53.</b> Valores determinados de Combustión para la Cocina doméstica Tipo 2-GLP-QE.....	90
<b>Tabla 3.54.</b> Valores determinados de Combustión para la Cocina doméstica Tipo 2-GLP-QS.....	90
<b>Tabla 3.55.</b> Medias de Combustión con IC del 95 %-Cocina tipo 2-QE-GLP .....	90
<b>Tabla 3.56.</b> Medias de Combustión con IC del 95 %-Cocina tipo 2-QS-GLP .....	90
<b>Tabla 3.57.</b> Comparación de medias de Combustión por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-Cocina tipo 2-Q.estándar-GLP.....	91
<b>Tabla 3.58.</b> Comparación de medias de Combustión por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-Cocina tipo 2-Q. súper-GLP .....	91
<b>Tabla 3.59.</b> Valores de referencia de los indicadores según Normativas Internacionales vigentes .....	92

<b>Tabla 3.60.</b> Valores medios de Capacidad térmica-Cocina tipo 1-QE-GN y GLP .....	93
<b>Tabla 3.61.</b> Valores medios de Capacidad térmica-Cocina tipo 2-QE-GN y GLP .....	94
<b>Tabla 3.62.</b> Valores medios de Eficiencia térmica-Cocina tipo 1-QE-GN y GLP .....	95
<b>Tabla 3.63.</b> Valores medios de Eficiencia térmica-Cocina tipo 2-QE-GN y GLP .....	95
<b>Tabla 3.64.</b> Valores medios de Combustión-Cocina tipo 1-Q.Estandar-GN y GLP .....	96
<b>Tabla 3.65.</b> Valores medios de Combustión-Cocina tipo 1-Q. Súper-GN y GLP .....	97
<b>Tabla 3.66.</b> Valores medios de Combustión-Cocina tipo 2-Q. Estándar -GN y GLP .....	98
<b>Tabla 3.67.</b> Valores medios de Combustión-Cocina tipo 2-Q. Súper -GN y GLP .....	99
<b>Tabla 3.68.</b> Valores medios de Combustión en la Ciudad de El Alto a diferentes longitudes de entrada de aire primario .....	101

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 3.1.</b> Diagrama de Pareto para Capacidad térmica-GN .....	55
<b>Gráfico 3.2.</b> Gráfico de interacción de Capacidad térmica-GN.....	56
<b>Gráfico 3.3.</b> Diagrama de Pareto para Eficiencia térmica-GN.....	56
<b>Gráfico 3.4.</b> Gráfico de interacción para Eficiencia térmica-GN.....	57
<b>Gráfico 3.5.</b> Diagrama de Pareto de Combustión-GN.....	57
<b>Gráfico 3.6.</b> Gráfica de interacción para Combustión-GN.....	58
<b>Gráfico 3.7.</b> Diagrama de Pareto para Capacidad térmica-GLP.....	59
<b>Gráfico 3.8.</b> Gráfico de efectos principales para Capacidad térmica-GLP.....	59
<b>Gráfico 3.9.</b> Diagrama de Pareto para Eficiencia térmica-GLP.....	60
<b>Gráfico 3.10.</b> Gráfico de efectos principales para Capacidad térmica-GLP.....	60
<b>Gráfico 3.11.</b> Diagrama de Pareto para Combustión-GLP.....	61
<b>Gráfico 3.12.</b> Gráfico de interacción para Combustión-GLP.....	61
<b>Gráfico 3.13.</b> Variación de la Presión atmosférica respecto a la altitud de los lugares de evaluación.....	71
<b>Gráfico 3.14.</b> Variación de la presión de oxígeno respecto a la altitud en los lugares de evaluación.....	71
<b>Gráfico 3.15.</b> Gráfico de intervalos de medias de Capacidad térmica con un IC 95 % para la Cocina tipo 1-GN.....	73
<b>Gráfico 3.16.</b> Gráfico de intervalos de medias de Capacidad térmica con un IC 95 % para la Cocina tipo 1-GLP.....	74
<b>Gráfico 3.17.</b> Gráfico de intervalos de medias de Eficiencia térmica con un IC 95 % para la Cocina tipo 1-GN.....	76
<b>Gráfico 3.18.</b> Gráfico de intervalos de medias de Eficiencia térmica con un IC 95 % para la Cocina tipo 1-GLP.....	77
<b>Gráfico 3.19.</b> Gráfico de intervalos de medias de Combustión con un IC de 95 % para la Cocina tipo 1-GN-QE.....	79
<b>Gráfico 3.20.</b> Gráfico de intervalos de medias de Combustión con un IC 95 % para la Cocina tipo 1-GN-QS.....	79
<b>Gráfico 3.21.</b> Gráfico de intervalos de medias de Combustión con un IC 95 % para la Cocina tipo 1-GLP-QS.....	81
<b>Gráfico 3.22.</b> Gráfico de intervalos de medias de Combustión con un IC 95 % para la Cocina tipo 1-GLP-QE.....	81
<b>Gráfico 3.23.</b> Gráfico de intervalos de medias de Capacidad térmica con un IC 95 % para la Cocina tipo 2-GN.....	83
<b>Gráfico 3.24.</b> Gráfico de intervalos de medias de Capacidad térmica con un IC 95 % para la Cocina tipo 2-GLP.....	84
<b>Gráfico 3.25.</b> Gráfico de intervalos de medias de Eficiencia térmica con un IC 95 % para la Cocina tipo 2-GN.....	85

<b>Gráfico 3.26.</b> Gráfico de intervalos de medias de Eficiencia térmica con un IC 95 % para la Cocina tipo 2-GLP .....	87
<b>Gráfico 3.27.</b> Gráfico de intervalos de medias de Combustión con un IC 95 % para la Cocina tipo 2-GN-QE .....	89
<b>Gráfico 3.28.</b> Gráfico de intervalos de medias de Combustión con un IC 95 % para la Cocina tipo 2-GN-QS .....	89
<b>Gráfico 3.29.</b> Gráfico de intervalos de medias de Combustión con un IC 95 % para la Cocina tipo 2-QE-GLP .....	91
<b>Gráfico 3.30.</b> Gráfico de intervalos de medias de Combustión con un IC 95 % para la Cocina tipo 2-QS-GLP .....	92
<b>Gráfico 3.31.</b> Comportamiento de la Capacidad térmica para la cocina tipo 1 de GN y GLP .....	93
<b>Gráfico 3.32.</b> Comportamiento de la Capacidad térmica para la cocina tipo 2 de GN y GLP .....	94
<b>Gráfico 3.33.</b> Comportamiento de la Eficiencia térmica para la cocina tipo 1 de GN y GLP .....	95
<b>Gráfico 3.34.</b> Comportamiento de la Eficiencia térmica para la cocina tipo 2 de GN y GLP .....	96
<b>Gráfico 3.35.</b> Comportamiento de la Combustión para la cocina tipo 1 Q. Estándar de GN y GLP.....	97
<b>Gráfico 3.36.</b> Comportamiento de la Combustión para la cocina tipo 1 Q. Súper de GN y GLP.....	98
<b>Gráfico 3.37.</b> Comportamiento de la Combustión para la cocina tipo 2 Q. Estándar de GN y GLP.....	99
<b>Gráfico 3.38.</b> Comportamiento de la Combustión para la cocina tipo 2 Q. Súper de GN y GLP.....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Laboratorio de Centro Pruebas de Cocinas.....	2
Figura 2.1. Cadena de producción de hidrocarburos.....	7
Figura 2.2. Áreas de interés Petrolero- Bolivia .....	7
Figura 2.3. Perforación exploratoria del pozo Sipotindi .....	8
Figura 2.4. Planta Gran Chaco .....	9
Figura 2.5. Bolivia red de ductos .....	10
Figura 2.6. Funcionamiento de una torre de destilación .....	11
Figura 2.7. Potencial hidrocarburífero en Bolivia .....	15
Figura 2.8. Área Urbana– principal combustible o energía que utilizan para cocinar.....	17
Figura 2.9. Área Rural– principal combustible o energía que utilizan para cocinar. ....	18
Figura 2.10. Composición del aire seco a nivel del mar .....	18
Figura 2.11. Efecto del exceso de aire con la temperatura de los gases de combustión .....	19
Figura 2.12. Columna de fluido en un campo gravitacional.....	22
Figura 2.13. Variación de la presión atmosférica con la altura sobre el nivel del mar a 20 °C.....	23
Figura 2.14. Partes de una cocina domestica a gas.....	25
Figura 2.15. Ensamble de cocinas domésticas en Bolivia.....	27
Figura 2.16. Marcas de cocinas existentes en el mercado nacional .....	27
Figura 2.17. Representación de un quemador de llama blanca .....	28
Figura 2.18. Representación de un quemador de llama azul .....	29
Figura 2.19. Esquema de una llama con mezcla previa.....	30
Figura 2.20. Esquema de un inyector.....	30
Figura 2.21. Tipos de cámaras de mezcla. ....	31
Figura 2.22. Efecto Venturi de un quemador de llama azul.....	31
Figura 2.23. Quemador infrarrojo .....	32
Figura 2. 25. Representación del diseño factorial 22.....	35
Figura 3.1. Normativas Internacionales Vigentes de Latinoamérica referente a Cocinas Domésticas. ...	36
Figura 3.2. Hoja de anotación para la prueba de capacidad térmica .....	41
Figura 3.3. Hoja de anotación para la prueba de eficiencia térmica .....	46
Figura 3.4. Hoja de anotación para prueba de combustión .....	50
Figura 3.5. Prueba de Capacidad térmica-Cocina tipo 1 .....	54
Figura 3.6. Prueba de Capacidad térmica-Cocina tipo 2.....	54
Figura 3.7. Prueba de Eficiencia térmica Cocina tipo 1 .....	54
Figura 3.8. Prueba de Eficiencia térmica Cocina tipo 2 .....	54
Figura 3.9. Prueba de Combustión Cocina tipo 2 .....	54
Figura 3.10. Prueba de Combustión Cocina tipo 1 .....	54
Figura 3.11. Lugares de evaluación de las cocinas domesticas a gas. ....	67



## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES

La energía juega un papel muy importante en la conformación tecnológica, económica y social en nuestro planeta.

La energía es la capacidad de los cuerpos o conjuntos de estos para desarrollar un determinado trabajo o colocar algo en movimiento. La energía es un tópico de enorme relevancia para la actividad humana, en la medida que permite el desarrollo de la vida en la tierra y sostiene la actividad económica. [14]

Los combustibles fósiles, se forman mediante el proceso de descomposición parcial de la materia orgánica. Se trata de un proceso de transformación de millones de años debido a la presión y temperatura adecuadas, en las cuales se fueron formando varias capas de sedimentos de material orgánico. [35]

Los combustibles fósiles son: el Carbón, Gas Natural, el Petróleo condensado y derivados; en la actualidad constituyen alrededor del 86 % del consumo energético mundial considerando las distintas fuentes de energía. [39]

El consumo energético de procesos de cocción es una de las variables que influyen directamente en la economía, en la política social y energética de los países. Es importante analizar la eficiencia en los procesos de cocción del sector residencial ya que el porcentaje de estos de consumo llega al 45 % de los consumidores en América Latina. De la misma manera otro de los factores que es importante tomar en cuenta es la rapidez del proceso de cocción. [32]

La matriz energética de los países de América Latina y el Caribe es en comparación con otras regiones del mundo una de las de mayor componente renovable. En el año 2010 se vio que cerca de las tres cuartas partes de su estructura correspondió a combustibles fósiles; y los estudios recientes de prospectiva energética no predicen mayor variación durante los próximos 25 años. Existe en la región una importante disponibilidad de recursos petroleros, carboníferos y gasíferos, estos se encuentran concentrados en pocos países siendo la mayoría importadores de estas fuentes. Otros países que actualmente pueden autoabastecerse y eventualmente exportar ciertos excedentes de hidrocarburos, se enfrentan a mediano plazo al agotamiento de sus reservas debido a las altas tasas de crecimiento de sus economías y demanda energética. Esta situación marca la vulnerabilidad de la región a los efectos de las variaciones de precios internacionales de los “*commodities energéticos*”, que puede desembocar como ya ha ocurrido algunas veces en crisis económicas. No se debe olvidar el daño ambiental que produce la liberación del carbono y otros contaminantes contenidos en las fuentes fósiles a la atmósfera, cuyos efectos se manifiestan con los cambios climáticos que se están dando cada vez con mayor frecuencia en diferentes regiones de nuestro planeta. [9]

Nuestro país cuenta con grandes reservorios de gas natural y gas licuado de petróleo el cual es empleado como fuente de energía para la cocción de alimentos. El informe de la certificación de reservas hidrocarburos, realizado durante la gestión 2015 por la consultora canadiense GLJ, establece que las reservas probadas de gas natural son de 10,45 TCF y las reservas probadas de petróleo-condensado de 211,45 millones de barriles.

Considerando el caso de Bolivia, las principales fuentes de energía para actividades de cocción son el GLP y el GN, el primero es abastecido a los hogares Bolivianos mediante garrafas de 10 Kg de peso mediante compañías privadas que lo distribuyen en ciudades y centros poblados y el segundo por medio de redes domiciliarias de gas. Los artefactos para cocción de alimentos son generalmente importados pero existe también una industria nacional que produce artefactos pequeños de dos quemadores o más grandes para usos comerciales como hornos. [42]

### 1.1.1. Centro de Pruebas de Cocinas (CPC)

El Centro de Pruebas de Cocinas, es un centro de investigación, desarrollo y certificación de cocinas mejoradas a biomasa y solares. Nace a partir de una iniciativa del proyecto Endev-Bolivia de la Agencia Alemana de Cooperación técnica-GIZ y se consolida como centro de referencia internacional con soporte de la Alianza Global para Cocinas Limpias-GACC, dentro del Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos-IIDEPROQ de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Mayor de San Andrés.

El CPC tiene como actividades principales la investigación aplicada, desarrollo de tecnologías de combustión eficiente de biomasa, la implementación de protocolos internacionales de evaluación de laboratorio y en campo y la certificación del rendimiento de cocinas mejoradas bajo estándares nacionales e internacionales. [10]

*Figura 1.1. Laboratorio de Centro Pruebas de Cocinas*



*Fuente: CPC, 2018*

Para la realización del presente proyecto se tuvo la colaboración y apoyo del laboratorio de Centro de Pruebas de Cocinas, ya que el mismo nos brindó el préstamo de equipos y materiales para poder realizar los estudios de evaluación de los diferentes indicadores de desempeño en los lugares y sitios seleccionados de nuestro medio.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El país está impulsado las instalaciones de red domiciliaria de GN además de contar ya con un mercado de GLP domiciliario. Estos combustibles fósiles son la base del consumo energético domiciliario tanto en zonas urbanas como rurales llegando incluso a áreas remotas. Es a partir de este mercado creciente en el país, que se hace necesario el estudio de aparatos y equipos que utilizan como fuente de energía un determinado combustible; con objeto de brindar datos de referencia que serán de aporte en posteriores normativas y reglamentos garantizando la calidad de los productos domésticos de uso masivo que operan con GN o GLP, en especial de las cocinas domesticas a gas.

Los países de la región (Argentina, Chile, México, Brasil y otros) cuentan con normativas específicas que permiten garantizar la calidad de estos productos tanto desde el punto de vista de eficiencia energética, emisiones y seguridad de los usuarios.

En la actualidad Bolivia cuenta con una normativa para la evaluación de cocinas mejoradas domesticas (NB 83001); la cual considera un conjunto de métricas y variables de medición para determinar el rendimiento de cocinas a base de biomasa. Al mismo tiempo se está trabajando en la elaboración de protocolos para estudios de evaluación de cocinas mejoradas institucionales y cocinas solares para considerarlas de gran aporte en normativas nacionales. Pero el país no cuenta con un análisis de estudio a diferentes condiciones climáticas referente a la evaluación de cocinas domesticas a gas, por lo cual el presente proyecto, tiene por objeto el aporte de una línea base para contar con datos referenciales representativos a nivel nacional sobre la evaluación de estos equipos domésticos,

En este entendido, se realizarán evaluaciones para el desempeño energético y emisiones empleando procedimientos de Normativas Internacionales vigentes, la cual considera ciertos conjuntos de métricas de medición determinados para realizar la prueba de combustión, eficiencia térmica y capacidad térmica, que presenta entre otros parámetros: la descripción del combustible, que incluye (porcentaje de pureza, densidad aparente, poder calorífico nominal).

El desarrollo de este proyecto permitirá no solo brindar datos referenciales y apoyar la implementación en una normativa nacional, sino también el de difundir los resultados obtenidos con la comunidad internacional a fin de contar con datos representativos de desempeño energético y emisiones de nuestro país.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

#### **1.3.1. Justificación técnica**

Realizar un estudio de evaluación de factores de desempeño energético y emisiones en cocinas domésticas a gas en distintas regiones del país, permitirá conocer el efecto y comportamiento en los parámetros de control de estos artefactos domésticos, debido a la influencia por las diferentes condiciones climáticas en el proceso de combustión. Los resultados obtenidos y representados por una línea base ayudarán a definir criterios que sean apropiados para su diseño, fabricación e importación de artefactos domésticos de cocción en nuestro país.

#### **1.3.2. Justificación económica**

Contar con una línea base de desempeño energético y emisiones de las cocinas a domésticas a gas, permitirá a los usuarios que emplean este tipo de cocinas disminuir el costo en el consumo de estos combustibles; debido a que los productos domésticos deberán cumplir con los valores y límites definidos para nuestras condiciones climáticas, bajo condiciones de optimización y adecuación, los cuales se obtuvieron de forma experimental al realizar los estudios de evaluación de aparatos domésticos a nivel nacional.

#### **1.3.3. Justificación social**

Actualmente se está mejorando la calidad de vida de nuestro país, por medio de instalaciones de gas domiciliario en el área urbana, y se va ampliando el uso de cocinas que operan con GLP en lugares donde no cuentan con red domiciliaria de gas. Por tanto es necesario el estudio de los factores de control de las cocinas a gas, para realizar así la optimización del producto a nuestras condiciones climáticas con objeto de garantizar que estos artefactos domésticos sean seguros para los usuarios disminuyendo en alguna medida los contaminantes gaseosos emitidos y garantizando una adecuada cocción de los alimentos.

#### **1.3.4. Justificación ambiental**

Mediante los resultados de los indicadores de desempeño energético y emisiones obtenidos de las evaluaciones de cocinas a gas, se tendrá una base de datos referencial a nivel nacional la cual impulsará y será de aporte en la generación de políticas ambientales como ser una normativa referente a la evaluación de cocinas domésticas a gas, con el fin de asegurar y garantizar que los aparatos domésticos de cocción que operan con GLP o GN que llegan al mercado nacional no constituyan un riesgo para el ambiente, ni para la seguridad de las personas.

## 1.4. OBJETIVOS

### 1.4.1. Objetivo general

- Determinar una línea base de desempeño energético y emisiones para cocinas domésticas que emplean Gas Licuado de Petróleo y Gas Natural en tres regiones representativas de nuestro país.

### 1.4.2. Objetivos específicos

- Describir procedimientos de determinación de desempeño energético y emisiones para cocinas domésticas a gas; en base a normativas internacionales de referencia y definir los sitios geográficos óptimos donde se desarrollaran las pruebas de evaluación.
- Analizar la influencia y efecto de factores externos e internos sobre métricas de evaluación del desempeño energético y emisiones para cocinas domésticas a gas en los sitios identificados.
- Determinar una línea base del desempeño energético y emisiones para cocinas domésticas a gas en diferentes condiciones geográficas para análisis y comparación.
- Comparar los resultados obtenidos de las evaluaciones de indicadores de desempeño energético y emisiones, con límites permisibles referenciales de Normativas Internacionales vigentes de Latinoamérica.

## 1.5. ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACIÓN.

Se cuenta con la siguiente información:

Augusto Riofrío, Diego Carrión, Marco Orozco (2014). ANALISIS DEL CONSUMO ENERGETICO EN PROCESOS DE COCCION EFICIENTE PARA EL SECTOR RESIDENCIAL. Artículo científico. Quito-Ecuador. En el presente artículo se muestra un análisis del consumo energético y tiempos en procesos de cocción del sector residencial, ya que el porcentaje de consumo de GLP llega al 45 % de los consumidores en América Latina; de la misma manera otro de los factores que es importante tomar en cuenta es la rapidez del proceso de cocción.

Andrés Amell Arrieta, Francisco Javier Cadavid Sierra (2001). ANALISIS COMPARATIVO DE EFICIENCIA EN COCCION CON GAS NATURAL Y ELECTRICIDAD. Artículo científico. Ecuador. En este trabajo se presentan los cálculos de eficiencias de cocinas eléctricas y a gas en procesos de cocción, teniendo en cuenta diversos escenarios y condiciones de ensayo.

Freddy Rojas, Fernando Jiménez, Bryan Ramos (2016). ANALISIS EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO TERMICO, POTENCIA Y EMISIONES DE COCINAS DE ANAFE A GAS LICUADO DE PETROLEO PARA ALTITUDES DE 2200 Y 4200 MSNM. Artículo científico Perú. En el presente documento se presentan los resultados del análisis experimental de rendimiento térmico, potencia y emisiones de cocinas a gas licuado de petróleo a altitudes de 2200 a 4200 metros de Perú. Se observó que mediante una cocina mejorada, es posible conseguir un rendimiento térmico mayor a 50 % y emisiones por debajo de 0.15 %.

## **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Combustibles fósiles**

Los combustibles fósiles se han originado de forma natural por un proceso de fosilización en condiciones anaeróbicas: la materia orgánica no se ha degradado por microorganismos (que no pueden vivir), sino que permanece en forma de moléculas orgánicas más complejas, sólidas, líquidas o gas.

Los combustibles fósiles son cuatro: petróleo, carbón, gas natural y gas licuado del petróleo. Se han formado a partir de la acumulación de grandes cantidades de restos orgánicos provenientes de plantas y de animales. Sus restos se acumularon en depresiones como fondos marinos o lacustres, donde quedaron fuera del alcance de los microorganismos descomponedores aerobios. [31]

En la actualidad, más del 80 % del suministro mundial de energía, es decir, más de cuatro quintas partes, proviene de los combustibles fósiles, es decir, el petróleo, el gas natural y el carbón. A nivel mundial, el petróleo proporciona un tercio de las necesidades energéticas globales, el carbón más de una cuarta parte y el gas natural más de un quinto.

El 20 % es suministrado por la energía nuclear (6%) y las fuentes de energía renovables (13%), entre las que se encuentran no solo la energía solar, la energía eólica y las demás energías modernas, sino también la energía hidroeléctrica convencional y el uso tradicional de la biomasa y otros residuos que no suelen ser intercambiados en los mercados. [35]

#### **2.1.1. Cadena productiva de hidrocarburos**

La cadena del sector hidrocarburos corresponde al conjunto de actividades económicas relacionadas con la exploración, producción, transporte, refinación o procesamiento y comercialización de los recursos naturales no renovables conocidos como hidrocarburos (material orgánico compuesto principalmente por hidrógeno y carbono), dicho conjunto también está conformado por la regulación y administración de estas actividades.

La Cadena de Valor de los hidrocarburos, consta de dos grandes áreas: Upstream (también conocido como exploración y producción) y Downstream (se refiere a las tareas de refinamiento de petróleo crudo, comercialización y distribución). [44]

**Figura 2.1.** Cadena de producción de hidrocarburos



Fuente: YPFB, 2016

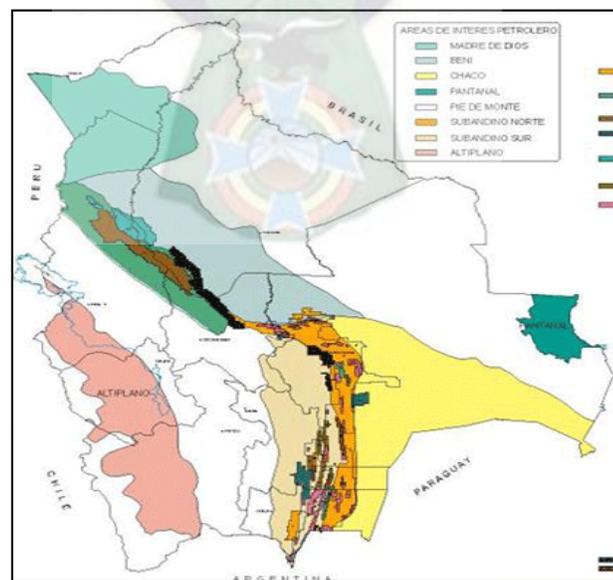
### a) Exploración

La exploración consiste en buscar yacimientos de petróleo y/o gas. El petróleo y el gas son fluidos que emigran hasta encontrar una roca que pueda almacenarlos a esto se conoce como “yacimiento o reservorio”.

Es la búsqueda de yacimientos de gas o petróleo. Se emplean métodos geológicos y geofísicos. Entre las herramientas y métodos empleados se pueden mencionar los siguientes: Imágenes satelitales, gravimetría, geoquímica de superficie, sísmica de reflexión. [44]

Actualmente en Bolivia existen zonas de interés petrolero, ubicado en los departamentos de Santa Cruz, Chuquisaca, Tarija, Cochabamba y La Paz. Se observa áreas de interés petrolero y zonas donde ya está en operación (marcaciones oscuras).

**Figura 2.2.** Áreas de interés Petrolero- Bolivia



Fuente: Cadena de producción de Hidrocarburos, 2016

## b) Explotación y Perforación

Es la práctica con la cual se confirma la existencia de los hidrocarburos. En Bolivia el pozo más profundo perforado es El Dorado, con una profundidad aproximada de 6750 m. Actualmente el tipo de perforación empleado es el rotatorio, para el que es necesario utilizar: una torre de perforación que soporta todo el peso de las herramientas; una mesa rotatoria, que transmite energía, trépano, que sirve para triturar la roca, tuberías y fluido de perforación que permite sacar los recortes del pozo, dar estabilidad a las formaciones y enfriar el equipo.

Uno de los principales elementos que intervienen durante la perforación de pozos es el fluido de perforación, entre cuyas funciones principales se encuentran:

- Limpiar el fondo del pozo de recortes
- Enfriar el trépano
- Dar soporte a las paredes del pozo
- Evitar el ingreso de fluidos de formación al pozo
- Permitir la toma de registros.

Para evitar que las paredes del pozo se derrumben durante la perforación y, al mismo tiempo, la estructura de los estratos del subsuelo permanezca inalterada, según se va perforando el pozo, éste va siendo recubierto mediante unas cañerías de acero de un grosor de entre 6 y 12 milímetros. [44]

*Figura 2.3. Perforación exploratoria del pozo Sipotindi*



Fuente: YPFB, 2018.

## c) Transformación

Una vez extraído el petróleo crudo se efectúa un tratamiento previo o acondicionamiento con productos químicos y calor para eliminar el agua y sustancias perjudiciales. Se separa el gas natural, luego se

almacena el petróleo y se transporta a una refinería donde se realizan procesos como destilación, craqueo térmico, alquilación, craqueo catalítico según sea la necesidad de procesamiento del petróleo. [44]

**Figura 2.4.** Planta Gran Chaco



Fuente: YPFB, 2018.

#### **d) Transporte, almacenamiento y comercialización del gas**

Los fluidos producidos en campos con facilidades y/o plantas de tratamiento, deben ser transportados hasta las refinerías, plantas petroquímicas o mercados de consumo. La construcción de un ducto supone una gran obra de ingeniería y por ello, en muchos casos, es realizada conjuntamente por varias empresas. También requiere de estudios económicos, técnicos y financieros con el fin garantizar su operatividad y el menor impacto posible en el medio ambiente.

##### Medios de Transporte

- **Petróleo:** aunque todos los medios de transporte son buenos para conducir este producto (el mar, la carretera, el ferrocarril o la tubería), el petróleo crudo utiliza mundialmente sobre todo dos medios de transporte masivo: los oleoductos de caudal continuo y los petroleros de gran capacidad. En Bolivia se emplean los oleoductos y los camiones cisternas.
- **Gas Licuado de Petróleo:** en nuestro país es transportado en poliductos y en camiones cisternas especiales que resisten altas presiones.
- **Gas Natural:** es transportado por gasoductos.

En Bolivia tenemos una red de transporte por ductos que se muestra a continuación:

La red de transporte de gas, gasoductos, se divide en dos sistemas: Norte y Sur.

El Sistema Norte conecta las ciudades de La Paz, Oruro, Cochabamba y Santa Cruz, con una longitud total de 1.270 Km. Este sistema tiene una capacidad de transporte de 6 millones de metros cúbicos al día (MMmcd). El Sistema Sur atiende las ciudades de Sucre, Potosí y Tarija con una longitud total aproximada

de 1.700 Km. El tramo más importante de este sistema nace en Yacuiba, ducto de 36 pulgadas de diámetro, 440 Km. de longitud hasta Río Grande (Santa Cruz), cabecera del gasoducto Bolivia – Brasil. La capacidad de transporte del Sistema Sur es de 7,2 MMmcd.

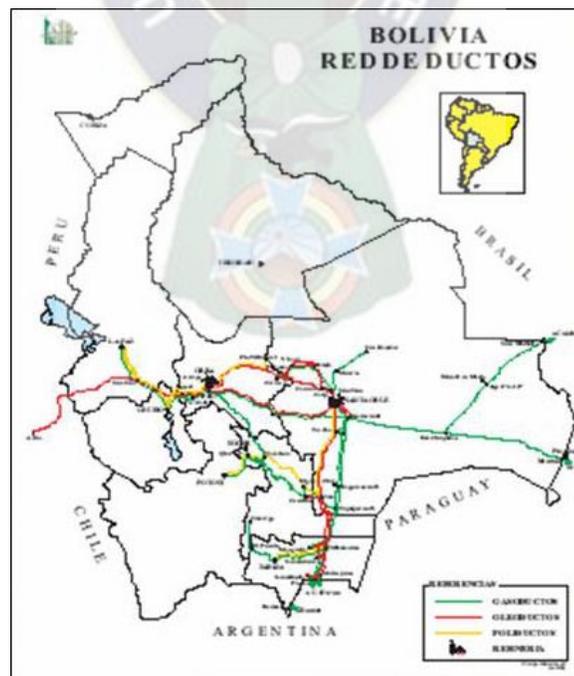
La Red de transporte de líquidos, oleoductos, cubre el centro y sur de Bolivia, se divide en cuatro subsistemas: **Norte, Sur, Central y Occidental**. La capacidad instalada de transporte de esta Red es de 55 mil barriles/día (bpd).

El Sistema Norte se extiende desde la localidad de Carrasco a las ciudades de Santa Cruz y Cochabamba, transportando petróleo crudo y condensado. La extensión de este Sistema es de 693 Km. y tiene una capacidad de transporte de 28.000 bpd.

El Sistema Sur se extiende desde Yacuiba a Santa Cruz transportando principalmente petróleo crudo, Gas Licuado de Petróleo (GLP) y Diesel Oil de importación. Tiene una extensión de 977 Km. y una capacidad de transporte de 18,000 bpd.

El Sistema Central se extiende desde Santa Cruz a Cochabamba transportando principalmente petróleo crudo, GLP y Diesel Oil. Este sistema tiene una extensión de 493 Km. y una capacidad de transporte de 27,500 bpd. [44]

*Figura 2.5. Bolivia red de ductos*



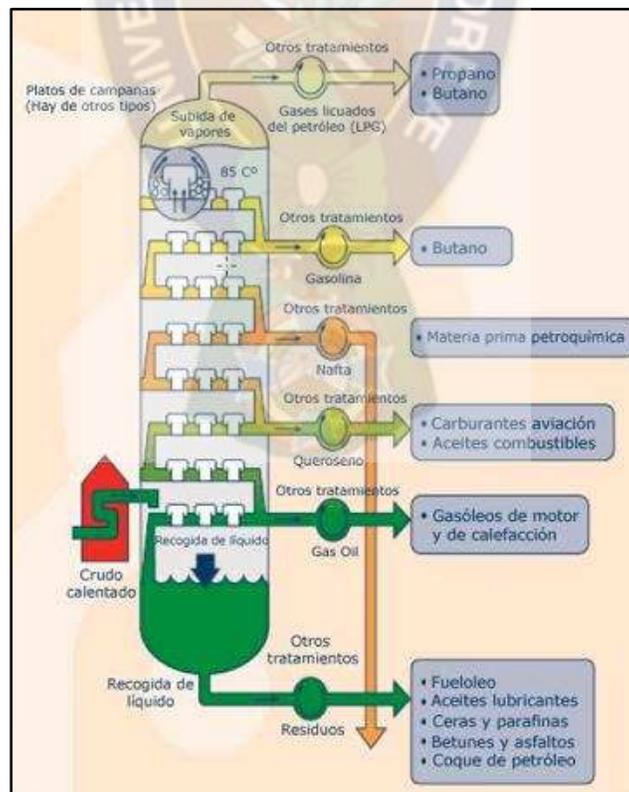
*Fuente: Cadena de producción de hidrocarburos, 2016*

### e) Refinación

El petróleo, tal como se extrae del yacimiento, no tiene aplicación práctica alguna. Por ello, se hace necesario separarlo en diferentes fracciones que sí son de utilidad. Este proceso se realiza en las refinerías. Una refinería es una instalación industrial en la que se transforma el petróleo crudo en productos útiles para las personas. El conjunto de operaciones que se realizan en las refinerías para conseguir estos productos son denominados “procesos de refinación”. Mediante la refinación se obtienen:

- Gas natural
- GLP
- Gasolina
- Kerosén
- Diésel oíl
- Fuel oíl
- Aceites
- Grasas

**Figura 2.6.** Funcionamiento de una torre de destilación



Fuente: Cadena de producción de hidrocarburos, 2016

### 2.1.2. Gas Licuado de Petróleo

El Gas Licuado de Petróleo (GLP), es un combustible que proviene de la mezcla de dos hidrocarburos principales: el propano ( $C_3H_8$ ) y el butano ( $C_4H_{10}$ ) y otros en menor proporción. Es obtenido de la refinación del crudo del petróleo o del proceso de separación del crudo o gas natural en los pozos de extracción. Los gases que componen el GLP son los productos que se desprenden a lo largo del proceso, quedando libres de azufre, plomo y con bajo contenido de carbono, convirtiéndolo una energía limpia, amigable y socio de los recursos naturales renovables. [40]

Suministra calor y energía tanto en áreas remotas como en zonas urbanas densamente pobladas. Dado que es posible licuarlo a baja presión, es fácilmente transportable en distintos tipos de contenedores (cilindros, camiones, etc.) y no depende de tuberías de transmisión o redes y gasoductos. El rol del GLP en las economías desarrolladas y en vías de desarrollo es único en su género. Con frecuencia es la principal y a veces la única energía moderna disponible, ya que permite contar con uno de los combustibles más limpios y de fácil uso para clientes tanto de alto consumo como para aquellos con un consumo energético tan bajo que no justifican la inversión de una red de distribución de gas natural. Al ser el GLP una energía limpia y transportable.

Los altos niveles de rendimiento y versatilidad hacen del gas licuado de petróleo un combustible universal, capaz de sustituir a cualquier otro combustible líquido o gaseoso en cualquier tipo de aplicación. [31]

### 2.1.3. Gas Natural

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos livianos en estado gaseoso, que en su mayor parte está compuesta por metano y etano, y en menor proporción por propanos, butanos, pentanos e hidrocarburos más pesados. Es el más limpio de los combustibles fósiles y sus reservas pueden superar a cualquiera de las otras fuentes (unos 5 trillones de pies cúbicos). [32]

Como lo indica su nombre, el gas natural se extrae de reservas subterráneas naturales y no es un producto químicamente puro. Al extraerse del yacimiento gasífero o en asociación con petróleo crudo, constituye una mezcla de gases y líquidos (algunos de los cuales no serán productos energéticos). Solo después de su procesamiento se convierte en uno de los gases comerciables que existen en su mezcla original. En esta etapa el gas natural sigue siendo una mezcla de gases, pero predomina su contenido de metano (típicamente más del 85%). El gas natural producido en asociación con el petróleo se llama gas asociado, y el producido en un yacimiento gasífero no asociado al petróleo se denomina gas no asociado. [11]

El gas natural sirve como combustible para usos doméstico, industriales y para la generación de energía termoeléctrica. En el área industrial es la materia prima para el sector de petroquímica. A partir del gas natural se obtiene, por ejemplo, el polietileno, que es la materia prima de los plásticos.

En términos generales se puede asegurar que la utilidad del gas natural es múltiple, aunque una de las primeras aplicaciones fue la producción de vapor sustituyendo o complementando en instalaciones mixtas, la acción de los combustibles sólidos o líquidos.

En todos los sectores del mercado energético y en casi todos los usos finales, el gas natural compite con otros combustibles y formas de energía.

La oferta y demanda del gas natural está creciendo rápidamente. El gas natural representa hoy más del 21 % de la oferta total mundial de energía primaria a comparación del 16.2 % en 1973. [11]

#### **2.1.4. Propiedades del GN y GLP**

Ambos combustibles gaseosos presentan varias propiedades características, sin embargo las propiedades más importantes en términos técnicos son las siguientes:

##### **2.1.4.1. Densidad relativa**

La densidad relativa es una comparación de la densidad de una sustancia con la densidad de otra que se toma como referencia, ambas densidades se expresan en las mismas unidades y en iguales condiciones de presión y temperatura. La densidad relativa es adimensional ya que queda definida como el cociente de dos densidades; para los gases, la densidad de referencia es la del aire a la presión de 1,0125 Bar y la temperatura de 0 °C. [35]

##### **2.1.4.2. Poder Calorífico**

El poder calorífico de los gases combustibles se define como la cantidad de calor desprendido por una unidad de masa o de volumen de gas combustible. El poder calorífico de un combustible es la cantidad de calor liberada en una combustión completa, medida en condiciones normales (Presión atmosférica de 1,0125 Bar, y una temperatura de 0°C)

El poder calorífico, es una de las propiedades más importantes de un combustible. El valor del poder calorífico varía mucho dependiendo del tipo de gas a ser empleado y en función de la composición del combustible. Los componentes no combustibles bajan el rendimiento calórico de la combustión. [35]

Existen dos clases de poder calorífico.

**Poder calorífico Superior (PCS):** Se denomina así al Poder Calorífico cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado o estado líquido y se contabiliza, por consiguiente, el calor desprendido en este cambio de fase.

**Poder Calorífico Inferior (PCI):** Se denomina así al Poder Calorífico sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua de la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor. [43]

**Tabla 2.1. Características principales de combustibles Gaseosos – Bolivia**

Gas	Composición	Poder Calorífico Superior [KJ/m3]	Relación entre PCI y PCS	Presión de Suministro [mbar]	Densidad Relativa
GLP	60% Propano 40% Butano	99185	0,91	28-30	2,01
GN	>90% Metano	39114	0,90	17-20	0,61

Fuente: ANH-YPFB, 2017

### 2.1.4.3. Calor específico

Se define como la cantidad de calor requerida para que una unidad de masa de gas aumente su temperatura 1°C, al aumentar la temperatura existe una dilatación, por ello se definen los siguientes calores específicos; calor específico a volumen y presión constante.

**Tabla 2.2. Calor Específico del GN y GLP**

Tipo de Combustible	Volumen cte.	Presión cte.
	/g - °	Cal/g - °
Gas Licuado	0,36	0,39
Gas Natural	0,44	0,56

Fuente: Combustibles Gaseosos, 2006

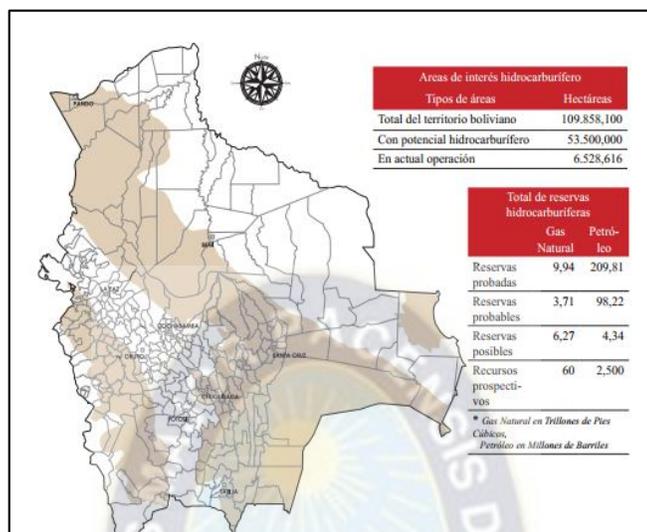
## 2.2. Potencial hidrocarburífero en Bolivia

Bolivia es un país que tiene una extensión territorial de 109 millones de hectáreas. En ese extenso territorio, estudios geológicos realizados por Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) han identificado toda el área de interés petrolero, es decir en lugares en los que previsiblemente se encontrará hidrocarburos. De acuerdo con los datos de YPF, 53,5 millones de hectáreas (48.70%) del territorio nacional tienen potencial hidrocarburífero. De ese total, actualmente solo en 6,5 millones de hectáreas se realiza algún tipo de operación petrolera, área equivalente al 12,20 % del espacio de interés petrolero y al 5,94 % del territorio nacional.

En toda el área que actualmente está en operación la industria petrolera boliviana ha logrado confirmar la existencia de 9.94 trillones de pies cúbicos de Gas Natural y 209,81 millones de barriles de petróleo, condensado y se espera confirmar la existencia de 10 TCF de gas natural y poco más de 100 MMBbl, que por el momento es catalogadas como reservas probables y posibles. YPF también estima que Bolivia cuenta con un potencial de recursos de gas superiores a los 60 TCF y más de 2.500 MMBbl de petróleo

aún por descubrir que están repartidos en las áreas que todavía no se ha realizado ninguna operación petrolera. [42]

**Figura 2.7. Potencial hidrocarbúfero en Bolivia**



Fuente: Lazcano, 2013

A estos datos debe sumarse, además las reservas potenciales de hidrocarburos no convencionales con que cuenta el país. Si bien en Bolivia todavía no se han realizado todos los estudios para dar cuenta sobre este tipo de recursos, estudios bien fundamentados, encargados por el Departamento de energía de Estados Unidos, señalan que en Bolivia existen 48 TCF de gas natural teóricamente recuperable.

Considerando esta información más la evolución del comercio internacional de los hidrocarburos, la disposición de la economía boliviana para exportar hidrocarburos y también las recientes necesidades de energéticos fósiles en Bolivia, se puede prever que las actividades hidrocarbúferas en Bolivia tienen un horizonte largo; inclusive se puede afirmar que a corto plazo existen amplias posibilidades para extender las operaciones petroleras hacia toda el área con potencial hidrocarbúfero. [42]

### 2.2.1. Producción de energía primaria en Bolivia

En Bolivia, la producción de energía primaria está compuesta principalmente por cuatro energéticos: gas natural, petróleo condensado y/o gasolina natural, biomasa e hidroenergía. Para el año 2013 la producción de energía primaria alcanzó los 157. 645, 91 kbep (kilo barriles de petróleo equivalente), superior en 13,3% a la producción de energía primaria del año anterior. [43]

**Tabla 2.3. Producción de energía primaria en Bolivia en (kbep)**

FUENTE	2012	2013	"Variación (en %)"
Petróleo, Condensado y Gasolina Natural	18.875,43	21.652,61	14,7%
Gas Natural	111.875,08	127.222,91	13,7%
Hidroenergía	1.457,55	1.570,71	7,8%
Biomasa	6.925,20	7.199,68	4,0%
<b>TOTAL</b>	<b>139.133,27</b>	<b>157.645,91</b>	<b>13,3%</b>

Fuente: Balance Energético Nacional, 2014

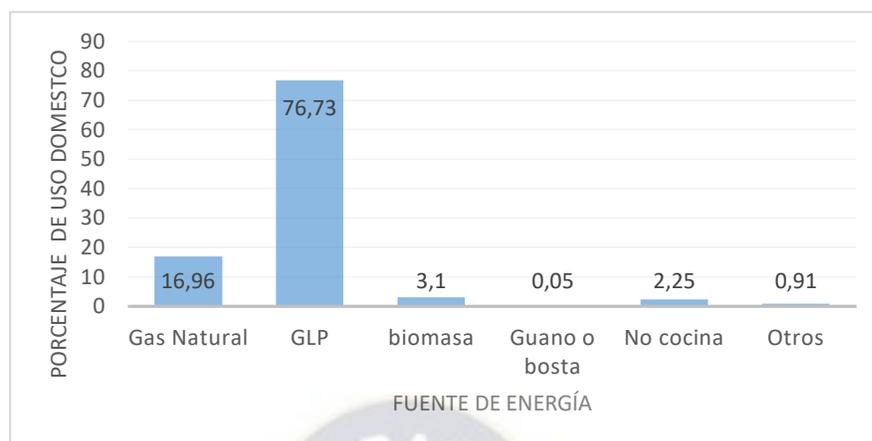
### 2.2.2. Combustibles para cocinar en los hogares de Bolivia

A continuación se detallan las principales fuentes de energías asociadas a la cocción de alimentos en las áreas rural y urbana respectivamente. De acuerdo a los datos del INE, los hogares del área rural y urbana utilizan los siguientes combustibles o energía para cocinar.

**Tabla 2.4. Área Urbana– principal combustible o energía que utilizan para cocinar**

Principal combustible o energía que utilizan para cocinar	Casos	%
Gas Natural (por cañería)	309.858	16,96
GLP	1.401.453	76,73
Electricidad	14.989	0,82
Energía solar	128	0,01
Leña	55.724	3,05
Guano, bosta o taquia	908	0,05
Otro	2.385	0,13
No cocina	41.035	2,25
<b>Total</b>	<b>1.826.480</b>	<b>100</b>

Fuente: INE-CNPV, 2014

**Figura 2.8.** Área Urbana– principal combustible o energía que utilizan para cocinar

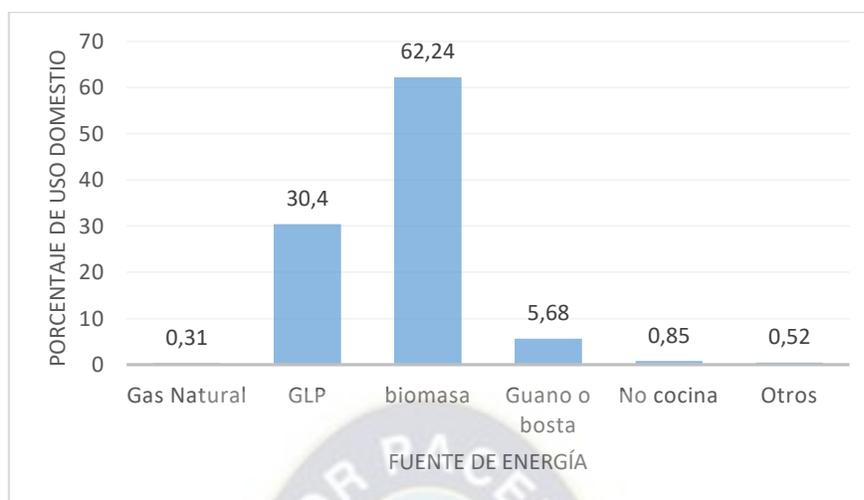
Fuente: INE-CNPV, 2014

**Tabla 2.5.** Área Rural– principal combustible o energía que utilizan para cocinar

Principal combustible o energía que utilizan para cocinar	Casos	%
Gas Natural	3.011	0,31
GLP	297.149	30,4
Electricidad	2.750	0,28
Energía solar	960	0,09
Leña	608.580	62,26
Guano, bosta o taquia	55.564	5,68
Otro	1.228	0,13
No cocina	8.260	0,85
<b>Total</b>	<b>977.502</b>	<b>100</b>

Fuente: INE-CNPV, 2014

**Figura 2.9.** Área Rural– principal combustible o energía que utilizan para cocinar.



Fuente: INE-CNPV, 2014

El informe del Instituto Nacional de Estadística (INE) de la gestión 2014, se puede observar y evidenciar la gran demanda que presenta el gas natural como el gas licuado de petróleo para los hogares del área rural y urbana de nuestro país. [22]

### 2.3. Combustión

La reacción de combustión se basa en la reacción química exotérmica de una sustancia denominada combustible, con el oxígeno. Como consecuencia de esta reacción se tiene la formación de una llama. Dicha llama es una masa gaseosa incandescente que emite luz y calor. El objetivo principal de la combustión es generar, a partir del poder calorífico del gas, una cantidad de calor para un determinado proceso. Para diferentes aplicaciones industriales se hace necesario asegurar que esta transformación de energía se presente con las mínimas pérdidas de calor posible, es decir, con una alta eficiencia. [2]

Todos los combustibles para generar la combustión, requieren de un comburente que en la mayoría de los casos es el aire atmosférico. La composición del aire seco a nivel del mar es la siguiente:

**Figura 2.10.** Composición del aire seco a nivel del mar

Componente	Fórmula	% en Volumen	ppm en volumen
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	78.084 ± 0.004	
Oxígeno	O <sub>2</sub>	20.946 ± 0.002	
Anhídrido carbónico	CO <sub>2</sub>	0.033 ± 0.001	
Argón	Ar	0.934 ± 0.001	
Neón	Ne		18.18 ± 0.04
Helio	He		5.24 ± 0.004
Kriptón	Kr		1.14 ± 0.01
Xenón	Xe		0.087 ± 0.001
Hidrogeno	H <sub>2</sub>		0.05 ± 0.001
Monóxido de Nitrógeno	N <sub>2</sub> O		0.5 ± 0.001

Fuente: Brizuela E. et al., 2003

Para efectos prácticos, se considera que los componentes del aire son exclusivamente nitrógeno y oxígeno, atribuyendo al primero las pequeñas cantidades de los otros inertes. En base molar o volumétrica en condiciones normales (1 atm y 0 °C), las proporciones volumétricas de estos elementos en el aire se considera que son: Oxígeno 21% y Nitrógeno 79%. [2]

### 2.3.1. Parámetros de combustión

#### 2.3.1.1. Aire teórico

El oxígeno requerido para la combustión se obtiene del aire que se encuentra en el ambiente, se puede considerar como una mezcla de 21 % de oxígeno y 79 % de nitrógeno en volumen. De aquí la composición del aire seco se puede expresar de la siguiente forma:



El aire teórico o estequiometrico es la cantidad de oxígeno suficiente que se puede captar del aire seco para realizar la combustión completa o estequiometria.

#### 2.3.1.2. Exceso de aire

El exceso de aire en la combustión se define como:

$$\lambda = \frac{A_r - A_m}{A_m} * 100 \quad (\text{Ecuación 2.1.})$$

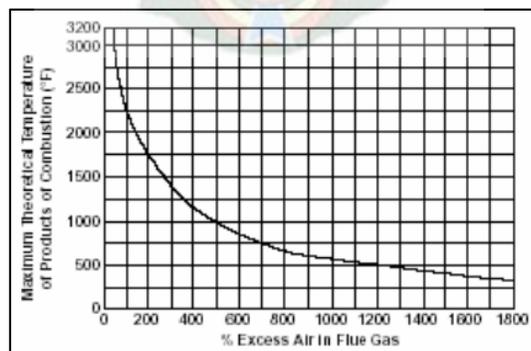
Donde:

$\lambda = \text{Exceso de aire}$

$A_r = \text{Cantidad de aire real}$

$A_m = \text{Cantidad de aire minimo necesario}$

**Figura 2.11.** Efecto del exceso de aire con la temperatura de los gases de combustión



Fuente: Chávez, 2005.

La **figura 2.11.**, muestra el efecto del exceso del aire en la temperatura de los gases de la combustión. Como se puede apreciar la temperatura decrece con el incremento del exceso de aire.

### 2.3.1.3. Relación aire-combustible

Se define según la siguiente relación:

$$r_{a/c} = \frac{m_a}{m_c} \quad (\text{Ecuación 2.2.})$$

Donde:

$m_a$  = masa de aire en kg

$m_c$  = masa de combustible en kg

La relación aire combustible es teórica, si el aire es estequiométrico o teórico y es real si hay exceso de aire.

Para el metano tenemos, una relación aire-combustible de 17.16 kg de aire/kg de combustible. [4]

### 2.3.2. Tipos de combustión

El proceso de combustión se puede clasificar en:

#### 2.3.2.1. Combustión completa

Los combustibles se queman hasta el máximo grado posible de oxidación. En consecuencia, no habrá sustancias combustibles en los humos. En los productos de la combustión se puede encontrar  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  y  $CO_2$ . [3]

#### 2.3.2.2. Combustión incompleta

Sucede lo contrario que en la combustión completa, el combustible no se oxida completamente, se forman sustancias que todavía pueden seguir oxidándose; por ejemplo el monóxido de carbono. Estas sustancias se denominan inquemados. La presencia de inquemados indica que la combustión se está realizando en forma incompleta. [3]

### 2.3.3. Variación de la composición química en la atmósfera

Es importante mencionar que Además de experimentar variaciones térmicas importantes, la atmósfera cambia también su composición química a medida que se aleja de la superficie terrestre. Desde el punto de vista de su composición química, en la atmósfera distinguimos:

- **Homosfera:** Se extiende desde el suelo hasta unos 100 kilómetros de altura coincidiendo aproximadamente con las tres primeras capas térmicas de la atmósfera.

Presenta una composición química casi constante. Las moléculas de los diferentes gases están difundidas unas entre otras de forma homogénea, con un 78% de nitrógeno, un 21% de oxígeno y pequeñas cantidades de dióxido de carbono, argón, hidrógeno y otros gases.

En la parte superior de la estratosfera se da una gran acumulación de ozono, es la denominada capa de ozono, que absorbe la radiación ultravioleta del sol e impide que estos rayos tan perjudiciales para la vida lleguen hasta la superficie de nuestro planeta. El ozono se produce libremente en la atmósfera por asociación de moléculas de oxígeno y su existencia resulta fundamental, pero diversas mediciones han demostrado que está disminuyendo la capa de forma considerable.

- **Heterosfera:** A partir de unos 100 kilómetros de altura predominan los gases ligeros.

Las moléculas de los gases son cada vez más escasas. Suelen estar ionizadas (disociadas en átomos). A unos 100 km de altura hay una capa de nitrógeno molecular, sobre ésta, hay otra capa cuyo principal componente es el oxígeno atómico, a unos 500 km predomina el helio y a mayor altitud corresponde el hidrógeno atómico. (4)

#### **2.3.4. Efectos de la altura en el proceso de combustión**

Es importante realizar el estudio del efecto de la altura sobre el proceso de combustión, ya que los equipos que operan con GN o GLP (cocinas domésticas, cocinas industriales, calefactores u otros), fueron diseñados para prestar servicios en condiciones atmosféricas normales, es decir a la presión de operación de 1 atm.

La altitud sobre el nivel del mar ejerce efectos tanto sobre la presión y temperatura atmosféricas, así como sobre la concentración de oxígeno en el aire, ocasionando una afección del proceso de combustión con relación al que se realiza en condiciones de presión normal.

Cuando se realiza la combustión a alturas sobre el nivel del mar, es necesario considerar la variación de presión atmosférica y su influencia sobre las propiedades del aire y los combustibles. Los combustibles sólidos y líquidos, prácticamente no ven afectadas sus propiedades por la altitud y en el caso de los combustibles gaseosos, su mayor efecto es la disminución de su densidad.

La altitud sobre el nivel del mar afecta de manera significativa las propiedades del aire. Además de las variaciones de temperaturas propias de las distintas capas de la atmósfera, la presión del aire disminuye a medida que crece la altura del punto de medida, debido a la reducción del peso de la columna que soporta por encima, así como la menor densidad del aire que la ocupa. [41]

##### **2.3.4.1. Ley de la distribución barométrica**

Para un comportamiento de gas ideal se considera que la presión del gas tiene el mismo valor en cualquier punto o altura. En rigor, esta suposición es correcta solo ante la ausencia de campos de fuerza. Debido a que todas las mediciones se hacen en sistemas de laboratorio sometidos a la acción de la gravedad, es

importante conocer que efecto produce la influencia de este campo. Se puede decir que, para sistemas gaseosos de tamaño ordinario, la influencia de la gravedad es tan insignificante que pasa desapercibida aun con métodos experimentales altamente refinados. Para un fluido de alta densidad, como un líquido, el efecto es más pronunciado y la presión será diferente para diferentes posiciones verticales en un recipiente.

Para el análisis barométrico, se considera una columna de fluido con una sección transversal  $A$ , y a una temperatura uniforme  $T$ , está sujeta en un campo gravitacional que actúa hacia abajo para dar a una partícula una aceleración  $g$ . La coordenada vertical  $z$  se mide hacia arriba a partir del nivel de referencia donde  $z=0$ . La presión a cualquier altura  $z$  en la columna está determinada por la masa total  $m$  del fluido por encima de esa altura. La fuerza hacia abajo sobre esta masa es  $mg$ ; esta fuerza dividida por el área es la presión a la altura  $z$ :

$$p = \frac{mg}{A} \quad (\text{Ecuación 2.3.})$$

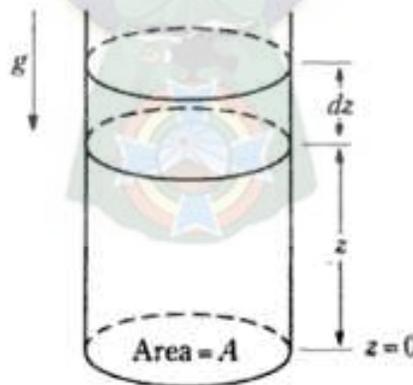
Sea la presión a la altura  $z + dz$ ,  $p + dp$  entonces:

$$p + dp = \frac{m'g}{A}$$

Donde  $m'$  es la masa del fluido por encima de la altura  $z + dz$ . Pero:

$$m' + dm = m \quad \text{o} \quad m' = m - dm$$

**Figura 2.12.** Columna de fluido en un campo gravitacional



Fuente: Castellán, 2006

Si  $dm$  es la masa del fluido en la porción entre  $z$  y  $z + dz$ . Por tanto:

$$p + dp = \frac{(m - dm)g}{A} = \frac{mg}{A} - \frac{gdm}{A}$$

Con la ecuación inicial, la ecuación se convierte en:

$$dp = -\rho g dz$$

La ecuación diferencial relaciona el cambio en la presión  $dp$ , con la densidad del fluido, la aceleración gravitacional y el incremento en la altura  $dz$ . El signo negativo quiere decir que si la altura aumenta ( $dz$  es  $+$ ) la presión del fluido disminuirá ( $dp$  es  $-$ ). El efecto del cambio en la altura sobre la presión es proporcional a la densidad del fluido; por tanto, es importante en los líquidos y despreciable en los gases.

Si la densidad de un fluido es independiente de la presión, como en el caso de los líquidos, entonces la ecuación anterior puede integrarse de inmediato. Debido a que  $\rho$  y  $g$  son constantes, salen de la integral y obtenemos

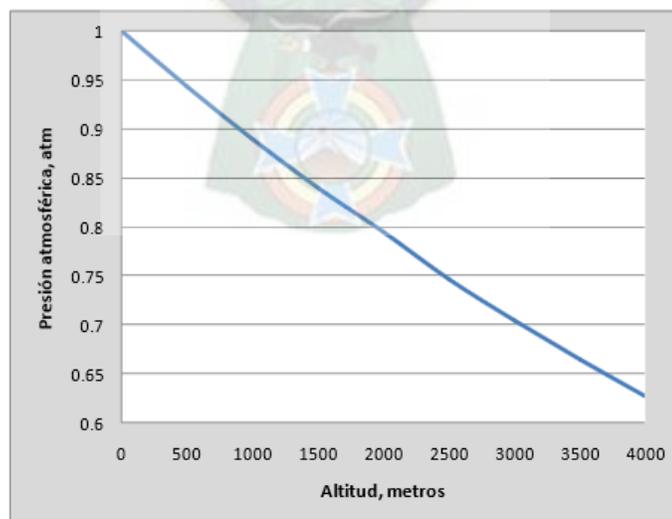
$$\int_{p_0}^p dp = -\rho g \int_0^z dz$$

Que una vez integrada y resuelta la ecuación diferencial por el método separación de variables se obtiene la siguiente ecuación:

$$P = P_0 e^{-\frac{Mgz}{RT}} \quad (\text{Ecuación 2.4.})$$

En la ecuación 2.4,  $M$  es el peso molecular del aire,  $g$  la aceleración de la gravedad,  $z$  la altura sobre el nivel del mar,  $R$  constante universal de los gases y  $T$  la temperatura absoluta.

**Figura 2.13.** Variación de la presión atmosférica con la altura sobre el nivel del mar a 20 °C



Fuente: Velasco, 2014

## **2.4. Condiciones límites para que se produzca la llama.**

Se debe controlar algunos parámetros de combustión de manera frecuente garantizando así que el producto de llama en los quemadores superiores u horno sea eficiente para el usuario, tales parámetros se indican a continuación:

### **2.4.1. Límites de inflamabilidad.**

Partiendo de mezclas estequiométricas de combustible comburente, y procediendo a las escalas de concentraciones tanto hacia mezclas más ricas como hacia las más pobres en combustible, se llega en ambos casos a mezclas límites, en las cuales el calor producido por un volumen de la mezcla en combustión resulta insuficiente para propagar la llama, en el ambiente circundante, por difusión molecular y térmica; ambos límites marcan el superior e inferior de inflamabilidad. Viene dados por el porcentaje de concentración del combustible en la mezcla combustible comburente.

En general, los límites corresponden a mezclas que dan lugar a bajas temperaturas de combustión, en las cuales no puede propagarse la llama (en otras palabras, se tiene una pérdida de energía, por lo que la mezcla circundante no puede alcanzar la temperatura de ignición). Los valores de ambos límites cambian mediante variaciones de la presión y la temperatura. [37]

### **2.4.2. Límites de presión.**

Los límites de presión definen el intervalo de presiones dentro del cual puede existir una llama; se han hecho experiencias demostrativas al respecto y se ha constatado que, por lo que se refiere al límite inferior, que está por debajo de las 0.001 atmósferas, todas las llamas tienden a extinguirse, el límite superior es muy difícil de determinar debido a la peligrosidad de la mezcla, hasta el momento se han conseguido combustiones a presiones de hasta unas 100 atmósferas. [37]

### **2.4.3. Temperatura de la llama.**

En la combustión de determinado material pueden conseguirse llamas de temperatura diversas, según las condiciones experimentales utilizada; ejercen una influencia determinante en ello el poder calorífico del combustible y su composición, el tipo de comburente (aire, oxígeno o mezclas de ambos) y la velocidad global de combustión. Este último depende a su vez de la reactividad del combustible, de la forma y eficacia del sistema de combustión y de la temperatura inicial de los reactivos. El cálculo teórico de la temperatura de una llama (temperatura ideal) se basa normalmente en el supuesto de que la reacción se produzca de un modo completo, en proporciones estequiométricas, con mezclas perfectamente homogéneas y en un tiempo brevísimo de modo que no se produzcan pérdidas de calor por el ambiente, en consecuencia se calcula la temperatura de la llama (temperatura adiabática ideal) multiplicando el calor específico medio de los gases quemados por su cantidad, y dividiendo el contenido térmico global por este valor. Por consiguiente, las combustiones perfectamente estequiométricas son de difícil realización en la práctica: generalmente se necesitan grandes excesos de aire, que contribuyen a la vez a una mezcla deficiente de los reactivos, y a una reducción posterior de la temperatura de la llama. [37]

## 2.5. Eficiencia energética

Se define a la eficiencia energética como el consumo de menos energía, para obtener los mismos beneficios en términos de cantidad y calidad, es decir, conservar los mismos bienes, servicios, realizar las mismas actividades pero con la intención de que haya el menor desperdicio energético posible.

La eficiencia energética se enfoca principalmente en tres objetivos que son: el ahorro energético, enfocado en la reducción de emisiones nocivas para el medio ambiente, mejorar la productividad disponibilidad y fiabilidad. Matemáticamente la eficiencia energética es la proporción entre el calor útil entregado y el calor total entregado por el combustible. [35]

Las pérdidas de calor corresponden, casi completamente, al calor perdido en los gases de escape, el cual es proporcional a la temperatura y al volumen de dichos gases. A su vez este último depende del exceso de aire. Es decir, la eficiencia energética decrece al aumentar la temperatura de los gases de escape y al aumentar el exceso de aire. [30]

## 2.6. Aparato doméstico de cocción a gas

También conocido como cocina domestica a gas, es un aparato para la cocción de los alimentos, por medio de quemadores, donde se realiza la salida de gas, protegidas por una parrilla metálica. Una cocina doméstica funciona con gas natural o gas licuado de petróleo, los alimentos se calientan por lo general a través de utensilios de cocina como ser: ollas, sartenes y cazuelas. Según la técnica con que los alimentos sean calentados. [5]

**Figura 2.14.** Partes de una cocina domestica a gas



Fuente: Albornoz, 2010

Los componentes básicos de una cocina domestica a gas son:

### **2.6.1. Líneas de gas**

Cada cocina de gas necesita una conexión a la tubería de gas; los hornos de gas no se pueden instalar si no hay presencia de gas natural. Algunas cocinas están hechas con líneas laterales que se pueden conectar directamente al horno, pero en otros casos se necesitan profesionales que los conecten a una línea y a una válvula del canal principal de gas. El horno en sí utiliza una serie de pequeñas válvulas y controles para que el gas sólo se libere cuando el usuario lo disponga.

### **2.6.2. Sistema de control**

El sistema de control de la cocina es la serie de botones y perillas que utilizan los usuarios para controlar el horno y las hornallas. El sistema de control es en su mayoría de naturaleza eléctrica, pero hay algunas excepciones. Los temporizadores, controles de cocción y las secuencias de encendido son eléctricos, pero los usuarios pueden controlar el flujo de gas a través de un dispositivo mecánico que abre y cierra las válvulas de gas al horno y hornallas.

### **2.6.3. Sistema de encendido**

El sistema de encendido es responsable de encender el gas cuando alcanza el interior del horno o las hornallas. Los hornos antiguos utilizan un sistema piloto que mantiene una pequeña corriente de gas encendida sosteniendo una luz prendida y que de inmediato con una oleada fuerte de gas ésta luz se expande y enciende el resto del horno. Las cocinas de gas modernas tienden a utilizar en su lugar, un sistema de encendido eléctrico, en el cual salta una chispa entre dos electrodos creando suficiente calor en su camino como para encender el gas presente en el aire.

### **2.6.4. Quemadores**

Existen dos tipos de hornallas o quemadores que se encuentran en una cocina de gas. El primer tipo de quemador es el de la parte superior, que por lo general viene en conjunto y se puede utilizar para calentar ollas y sartenes. Estas hornallas crean una llama abierta al canalizar una corriente de gas hasta su superficie en la que se enciende el fuego. El segundo tipo de quemador calienta el horno en sí por la quema de gas en un elemento con forma de bucle en el interior de la cocina. [28]

La industria Boliviana de fabricación de cocinas, es una industria incipiente que tiene modelos básicos y de fabricación prácticamente artesanal que tiene dos o tres quemadores y un horno. Otra modalidad de fabricación es el ensamble de cocinas, las piezas llegan embaladas, las cuales son ensambladas en talleres de distribuidores o mayoristas.

**Figura 2.15.** Ensamble de cocinas domésticas en Bolivia



*Fuente: Sotomayor, 2009*

A pesar del mercado informal en diferentes regiones del país existen marcas con reconocimiento regional que tienen presencia en lugares de comercio en nuestro país, tales como: Electroluz, Mabe, Cónsul, Whirlpool, Atlas, además de marcas brasileñas como Laser y Dako.

**Figura 2.16.** Marcas de cocinas existentes en el mercado nacional

Numero	Marca de cocina	Industria	Ilustración
1	Whirlpool	Mexicana	
2	Cónsul	Brasileira	
3	Dako	Brasileira	
4	Atlas	Brasileira	
5	Mabe	Ecuatoriana	

*Fuente: Elaboración propia, 2018*

En el **figura 2.16.**, se ilustran las principales marcas existentes en el mercado nacional, donde se observa el país de procedencia de cada electrodoméstico.

En la actualidad ya se considera que los productos que se comercializan en el país deben tener una válvula multigas, ya que si bien en el corto o mediano plazo el país tendrá aproximadamente de un 80 % de uso de gas natural.

## 2.7. Quemadores atmosféricos

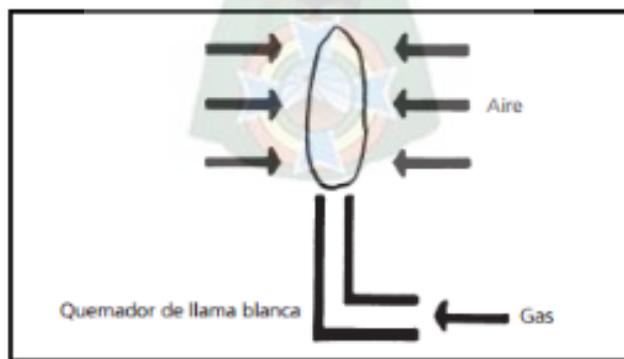
Los quemadores para combustibles gaseosos son más sencillos que los combustibles líquidos debido fundamentalmente a que el combustible y el comburente están en fase gaseosa (sin necesidad de vaporizar el combustible), su combustión es más fácil y por ello la combustión se ve favorecida, además a una presión determinada es suficiente para el funcionamiento del quemador.

Los quemadores atmosféricos son aquellos en los que el aire se toma del ambiente que los rodea. Dentro de esta clasificación se encuentran los quemadores de llama blanca, de llama azul e infrarrojos. [23]

### 2.7.1. Quemador de llama blanca

Los quemadores atmosféricos (cocinas), son aquellos en los que el aire se toma del ambiente que los rodea. Se les llama así por contraposición a los quemadores de impulsión (calderas de elevada potencia, hornos), en los cuales el aire y en algunos casos también el gas, es aportado mediante ventilación forzada. Quemadores de llama blanca son aquellos en los que no se realiza la mezcla previa de gas y el aire. En un principio todos los quemadores de gas eran de llama blanca. Consistían en un simple tubo metálico. Dotado de orificios por donde salía el gas de la atmosfera. La llama tomaba el aire necesario para la combustión del ambiente que la rodeaba.

**Figura 2.17.** Representación de un quemador de llama blanca



*Fuente: Rojas, 2015*

Los quemadores de llama blanca se caracterizan por no tener una entrada de aire primario, los orificios del quemador son muy finos y están calibrados a la presión de suministro, con el fin de obtener la potencia prevista y las llamas estables.

Normalmente los orificios son ranuras a fin de obtener llamas planas, en forma de mariposa, con lo que se aumenta la superficie de la llama de forma que se capte el máximo de aire secundario.

La llama sin mezcla previa (llama blanca), se trata de una llama de gran longitud pero de baja temperatura. Normalmente los orificios son ranuras a fin de obtener llamas planas, en forma de mariposa, con lo que se aumenta la superficie de la llama de forma que se capte el máximo de aire secundario. En la actualidad no se utiliza este tipo de quemadores. [20]

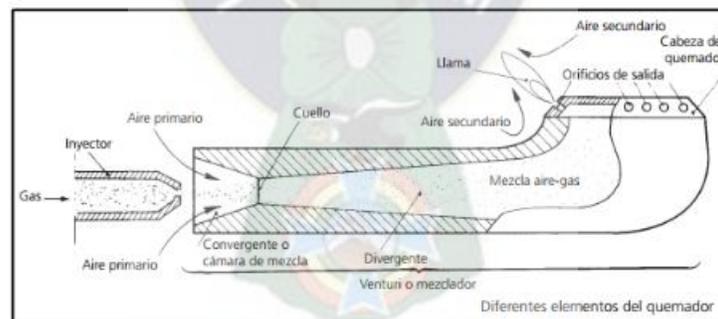
### 2.7.2. Quemadores de llama azul

Para la correcta combustión de los gases de alto poder calorífico se precisa dispone de una gran cantidad de aire que los quemadores de llama blanca no podrían suministrar aunque se aumentara el número de orificios de salida del gas.

Si en los quemadores de llamas blancas se emplearan gases de alto poder calorífico se producirían llamas blancas demasiado largas que se desprenderían con facilidad. Además se correría el riesgo de producir una mala combustión.

Estos problemas obligaron a desarrollar unos quemadores en los cuales el aire que se precisa para realizar una combustión completa se aporta en dos etapas: en la primera una parte del aire se mezcla con el gas antes de la combustión (aire primario) y en la segunda, el resto del aire se aporta a la altura de la llama (aire secundario). Las llamas de estos quemadores cuando están bien regulados son estables, de color azul y la combustión es completa. A estos quemadores se los denomina quemadores de llama azul, dicho quemador se muestra en la **figura 2.18**.

**Figura 2.18.** Representación de un quemador de llama azul

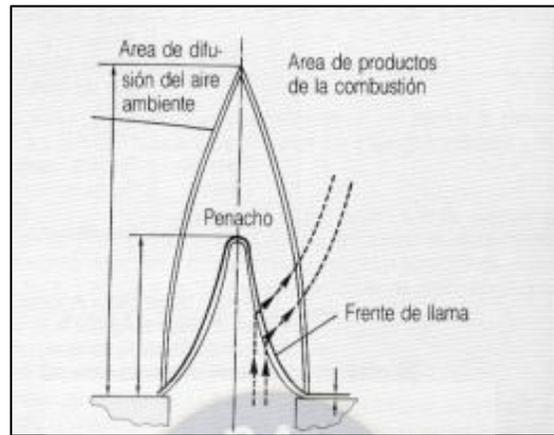


Fuente: Rojas, 2015

Al existir una mezcla previa entre el combustible y comburente, se obtienen llamas cortas de color azulado y de alta temperatura.

En caso de que el comburente incorporado no sea suficiente para garantizar la combustión completa, se produce una segunda zona de llama incolora, dando lugar a un penacho que recubre la anterior. [20]

**Figura 2.19.** Esquema de una llama con mezcla previa



Fuente: Rojas, 2015

El quemador de llama azul está compuesto por varias piezas, las cuales se describen previamente a continuación.

**Inyector:** El inyector es la pieza mediante la cual se fija la potencia del quemador, presenta un orificio que determina el caudal de gas según la presión de alimentación.

**Figura 2.20.** Esquema de un inyector

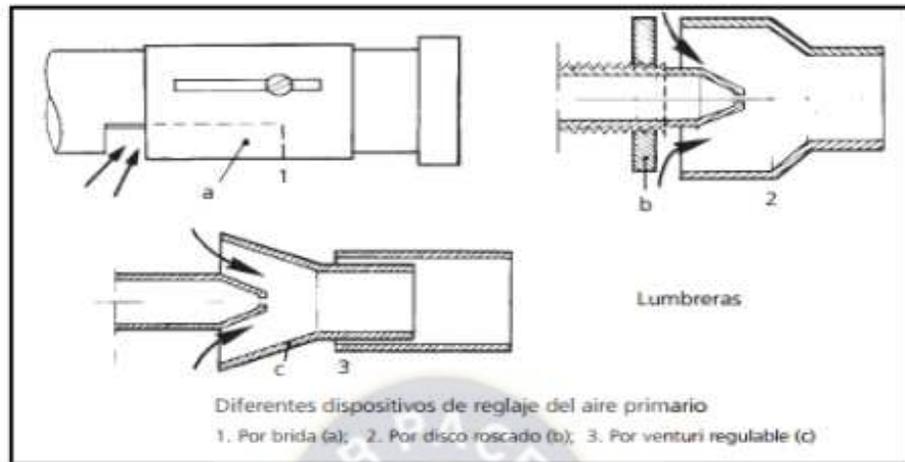


Fuente: Palacios, 2016

Cualquier modificación del diámetro del orificio provoca la variación de la potencia del quemador. Si un inyector funciona correctamente, no debe modificarse su calibre ya que podría dar origen a una combustión defectuosa.

**Cámara de mezcla:** La cámara de mezcla es el espacio donde se realiza la mezcla del aire primario y el gas, como se muestran en la **figura 2.21**.

**Figura 2.21.** Tipos de cámaras de mezcla.

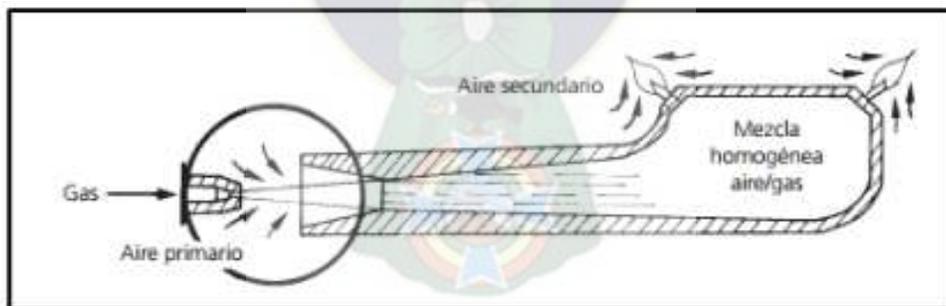


*Fuente: Palacios, 2016*

El aire primario entra en la cámara por la misma tobera que el gas o a través de unos agujeros practicados en las paredes del tubo, los cuales se llaman lumbreras. Las lumbreras pueden tener mecanismos que permiten regular la entrada de aire primario.

**Efecto Venturi:** El agujero del inyector es muy pequeño, y el gas cuando sale por este lo hace a una velocidad muy elevada, lo que produce una depresión que absorbe aire que entra por las lumbreras mezclándose con el gas dentro del tubo, se muestra en la figura 28.

**Figura 2.22.** Efecto Venturi de un quemador de llama azul



*Fuente: Palacios, 2016*

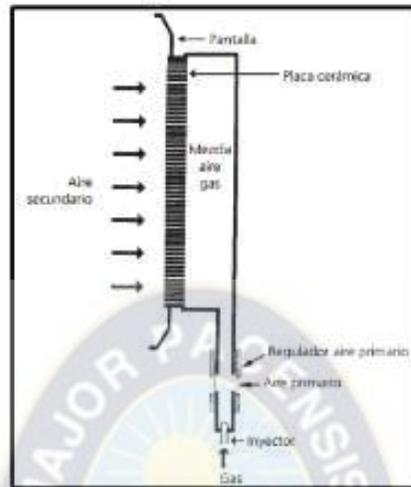
**Cabeza del quemador:** En la cabeza del quemador se encuentran los orificios de salida de la mezcla gas-aire. Las cabezas de los quemadores pueden tener múltiples formas, las cuales dependen de la aplicación a la que se encuentran destinados. El diseño de la cabeza se realiza de forma que mantenga la estabilidad de la llama y no se produzcan fenómenos de desprendimiento o retroceso.

### 2.7.3. Quemadores infrarrojos:

El funcionamiento de un quemador infrarrojo es similar al de un quemador atmosférico de llama azul cuya cabeza está constituida por una placa cerámica perforada. La llama se forma en las proximidades del

extremo exterior de los pequeños canales que tiene la placa cerámica. Al calentarse la placa se pone al rojo y genera calor en forma de radiación infrarroja tal como se muestra en la **figura 2.23**.

**Figura 2.23.** Quemador infrarrojo



*Fuente: Palacios, 2016*

## 2.8. Problemas frecuentes en Sistema Tubo Venturi de una cocina a gas

Este sistema presenta problemas en el funcionamiento y también en la durabilidad de los materiales, estas fallas fueron detectadas en campo y cuantificadas, las fallas más frecuentes que se identificaron en forma experimental en el sistema Venturi son las siguientes:

### 2.8.1. Puntas amarillas

Las puntas amarillas se presentan cuando es insuficiente la cantidad de aire primario para obtener una buena combustión, al reducir la cantidad de aire primario provoca que los conos internos de la llama se alarguen, a la larga desaparecen y al irse reduciendo aún más la cantidad de aire primario van apareciendo en su lugar flamas con puntas amarillas, si se suprime por completo el aire primario las flamas se tomarán completamente amarillas.

Las puntas amarillas son causadas por partículas de carbón que brillan dentro de la flama. Si estas flamas chocan contra una superficie fría, se formará hollín al terminar la reacción de combustión prematuramente, esto es, antes de que las partículas de carbón se hayan quemado. Las flamas amarillas pueden formar monóxido de carbono, sobre todo si las flamas chocan contra superficies frías. [19]

### 2.8.2. Fugas por descentramiento en la admisión de aire primario

Esta fuga se produce cuando al colocar la cabeza del quemador este centra el tubo mezclador respecto a la cubierta originando un ligero descentramiento en la unión de la válvula y el tubo mezclador o Venturi, lo que en ciertas ocasiones produce fuga de gas en esta zona. En los tubos mezcladores frontales se presentan estos problemas con más frecuencia que en los tubos mezcladores posteriores, esto se debe por tener poco espacio en doblez del tubo mezclador no permitiendo la alineación correcta con la válvula y originando en ocasiones fuga de gas.

### **2.8.3. Descentramiento entre tubos mezcladores y quemadores**

La variabilidad que se presenta en el ensamble de la caja de quemadores, es por no tener un control en el proceso durante su fabricación ocasionando variaciones de medidas de las mismas dentro de estas las piezas más críticas son los tubos mezcladores y soportes tubos mezcladores, que dan como resultado en el ensamble un descentramiento entre los tubos mezcladores y la cabeza del quemador.

El tubo mezclador se sujeta mediante un tornillo al soporte tubo mezclador por medio de un agujero acanalado que permite el deslizamiento del soporte en el ensamble y este origina descentramiento entre ambos componentes mencionados. [19]

### **2.8.4. Corrosión intensa en ambientes ligeramente salinos**

Los tubos mezcladores utilizados son de acero lámina en frío galvanizado ASTM A 528. Estos componentes presentan una rápida corrosión en la parte superior donde va ubicado la cabeza del quemador, esta corrosión es más acentuada en los productos ubicados en la zona costera que debido al medio salino en que se encuentren presenten una corta durabilidad.

### **2.8.5. Dificil regulación de aire primario**

El sistema tubo Venturi no tienen un acceso directo a los tubos mezcladores para realizar una regulación de la entrada de aire primario al proceso de combustión, para realizar esta regulación se debe desensamblar la cubierta y tubos respectivamente, luego destornillar el regulador de aire del tubo y proceder a la regulación girando el regulador para cerrar la caja de quemadores lugar donde se encuentran los tubos mezcladores se ensambla en última instancia la cubierta quedando sellada la caja de quemadores. [19]

## **2.9. Contaminación del aire interior**

Una atmosfera contaminada contiene gases que son dañinos que afectan la salud humana y el ambiente, la contaminación atmosférica es en la actualidad un riesgo medioambiental inminente. Ahora es importante diferenciar la contaminación del aire libre de la producida en los aires interiores; para ello es importante conocer el termino "microambiente" que comprende el espacio físico en el que se producen los procesos de combustión y por lo tanto en el que se acumulan diferentes contaminantes liberados que perturban la calidad del aire presente.

Los contaminantes presentes en ambientes cerrados pueden ser un factor de riesgo importante para la salud humana dado que las personas en especial mujeres y niños pasan más del 60 % del tiempo .Cuando se da una combustión incompleta de Gas Natural y Gas Licuado de Petróleo, la salida está compuesto por monóxido de carbono. [30]

### **2.9.1. Monóxido de carbono**

El monóxido de carbono, cuya fórmula química es CO, es un gas incoloro, inodoro, inflamable y altamente toxico que puede causar la muerte de un individuo cuando este es respirado a niveles elevados (Agencia

de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2014). El mismo es producido por la quema de materiales combustibles como gas, petróleo, carbón o madera en ambientes desprovistos de oxígeno, es decir que es el subproducto resultante de una combustión incompleta. [31]

## 2.10. Análisis estadístico

En el estudio experimental, luego de efectuar las mediciones en los diferentes ensayos y obtenidos los resultados buscados, es habitual analizar el procedimiento, las mediciones u observaciones y, sobre todo, los resultados; con la finalidad de identificar errores sistemáticos, valores atípicos y evidenciar si los resultados y sus límites de confianza corresponden efectivamente a los valores verdaderos buscados.

### 2.10.1. Prueba de hipótesis

La prueba de hipótesis es una afirmación sobre los valores de los parámetros de una población o proceso, que es susceptible de probarse a partir de la información contenida en una muestra representativa que es obtenida de la población.

Existe dos tipos de hipótesis estadística: la hipótesis nula y la alternativa. La hipótesis nula afirma que no hay diferencia, y la hipótesis alternativa especifica una diferencia. Para comprobar la hipótesis nula se emplea una prueba estadística, con el fin de rechazar o no la hipótesis nula, siendo rechazada cuando existe una diferencia significativa entre un parámetro de una población y una muestra estadística, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Valor de prueba} = \frac{(\text{valor observado}) - (\text{valor previsto})}{\text{Error estandar}}$$

Dicha diferencia es significativa cuando esta pertenece a la región crítica de distribución, determinada por  $\alpha$  (nivel de significancia de la prueba). El nivel es la probabilidad de cometer un error tipo I, el cual ocurre cuando la hipótesis nula es rechazada y verdadera. Los tres niveles generales de significancia son 0,10, 0,05 y 0,01. Un segundo tipo de error puede ocurrir cuando la hipótesis nula no es rechazada y falsa.

### 2.10.2. Diseño experimental

El diseño experimental o diseño estadístico, es una metodología basada en útiles matemáticos y estadísticos, cuyo objetivo es ayudar al experimentador a:

- a) Seleccionar la estrategia experimental óptima que permita obtener la información buscada con el mínimo coste.
- b) Evaluar los resultados experimentales obtenidos, garantizando la máxima fiabilidad en las conclusiones que se obtengan.

Las situaciones en las que se puede aplicar el diseño experimental son numerosas, aunque se puede aplicar a un solo factor, sus ventajas se aprecian mejor cuando se estudia más de un factor.

### 2.10.2.1. Diseño factorial

El objetivo de un diseño factorial es estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas, cuando se tiene el mismo interés sobre todos los factores. Los factores pueden ser de tipo cualitativos o cuantitativos. Para estudiar la manera en que influye cada factor sobre cada variable de respuesta es necesario elegir al menos dos niveles de cada prueba para cada uno de ellos.

### 2.10.2.2. Efecto principal y efecto de interacción

El efecto de un factor se define como el cambio observado en la variable de respuesta debido a un cambio de nivel de tal factor. Los efectos principales son los cambios en la media de la variable de respuesta que se deben a la acción individual de cada factor. Por otra parte se dice que dos factores que interactúan entre sí o tienen un efecto de interacción sobre la variable de respuesta, cuando el efecto de un factor depende del nivel en que se encuentra el otro.

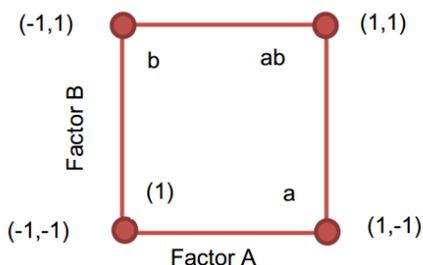
### 2.10.2.3. Diseños factoriales $2^k$

Los diseños factoriales  $2^k$  completos son útiles principalmente cuando el número de factores a estudiar está entre dos y cinco ( $2 \leq k \leq 5$ ). Si el número de factores es mayor a cinco se recomienda utilizar un diseño factorial fraccionado  $2^{k-p}$ . En general, los factoriales en dos niveles, sean completos o fraccionados, constituyen el conjunto de diseños de mayor impacto en las aplicaciones.

#### - Diseño factorial $2^2$

Con un diseño factorial  $2^2$  se estudia el efecto de dos factores considerando dos niveles en cada uno. Cada réplica de este diseño consiste de  $2 \times 2 = 4$  combinaciones de tratamientos que se pueden denotar de diferentes maneras **figura 2.24**. Algunas de estas notaciones se utilizan en situaciones muy particulares; por ejemplo, la notación  $+1, -1$  es útil a la hora de hacer los cálculos para ajustar por mínimos cuadrados un modelo de regresión de datos.

**Figura 2. 24.** Representación del diseño factorial  $2^2$



Fuente: Ferre, 2002

## CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA Y RESULTADOS

### 3.1. Describir procedimientos de determinación de desempeño energético y emisiones para cocinas domésticas a gas; en base a normativas internacionales de referencia e identificar los sitios geográficos óptimos donde se desarrollaran las pruebas de evaluación.

Se identificó las principales Normativas Internacionales para la evaluación de las cocinas domesticas a gas, las cuales muestran un procedimiento específico para la recolección de datos de cada indicador de interés, tomando en cuenta cierto parámetros de medición, siendo uno de los más importantes las condiciones climáticas de los lugares de estudio: presión barométrica, presión manométrica, temperatura ambiente, humedad relativa entre otros.

#### 3.1.1. Normativas Internacionales de aparatos de cocción

Nuestro país no cuenta con normativas referentes a la evaluación de cocinas domesticas a gas. En algunos países latinoamericanos se identifican la existencia de normas relacionadas a la evaluación de sistemas de cocción a nivel doméstico, así también la existencia de normativas complementarias, en este entendido se recopilo información de Normativas que se encuentran vigentes en Latinoamérica y se pudo obtener la Norma Mexicana, Norma Argentina y Norma Chilena, las cuales establecen métricas de evaluación para los indicadores de desempeño energético.

**Figura 3.1.** Normativas Internacionales Vigentes de Latinoamérica referente a Cocinas Domésticas.

NORMA ARGENTINA 2010	NORMA MEXICANA 2012	NORMA CHILENA 2001
		
Objeto: Definir las características de construcción y de funcionamiento, así como los requisitos de seguridad, de eficiencia energética, técnicas de ensayo y el marcado de artefactos para uso doméstico que utilizan combustibles gaseosos.	Objeto: Establecer los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir los aparatos de uso doméstico que se empleen para cocinar alimentos que utilicen GN o GLP, sus métodos de prueba y el procedimiento para la evaluación de la conformidad de la misma.	Objeto: Establece los requisitos que deben cumplir los artefactos de uso doméstico para cocinar, que usan combustibles gaseosos y están sujetos a métodos de ensayo para la evaluación y verificación de estos requisitos.

Estas Normas fueron diseñadas con el propósito de proteger la salud de las personas como del medio ambiente ante los efectos de la contaminación del aire. Ya que es importante establecer medidas necesarias a fin de asegurar que los aparatos domésticos para cocinar alimentos que utilicen Gas Licuado de Petróleo o Gas Natural no constituyan un riesgo para la seguridad de las personas, del ambiente o dañen la salud.

A continuación se describen los procedimientos establecidos en dichas Normativas:

### 3.1.2. Procedimientos para la determinación de desempeño energético y emisiones

Se recopiló y revisó información de procedimientos ya establecidos en Normativas Internacionales que se encuentran vigentes en Latinoamérica; referente a estudios de evaluación de desempeño energético y emisiones de cocinas a gas. Los cuales establecen procedimientos de evaluación para cada quemador de diferentes indicadores:

- Capacidad térmica
- Eficiencia térmica
- Combustión.

Estos indicadores fueron identificados en base a normas internacionales, los cuales muestran la importancia en estos tres, a continuación se da a conocer la importancia y su aplicación.

#### 3.1.2.1. Capacidad térmica

##### 3.1.2.1.1. Descripción de equipos y materiales

En la **tabla 3.1**. Se muestra los materiales y equipos que se emplearon para realizar las pruebas experimentales en la determinación de la capacidad térmica para una cocina doméstica.

**Tabla 3.1.** Equipos y materiales que fueron empleados para realizar la prueba de capacidad térmica

Nº	Equipo y material	Descripción	Figura
1	Cocina a gas	Aparato domestico para la cocción de alimentos que usa GN o GLP	
2	Manguera de gas	Se utiliza como conductor de gas entre la línea de alimentación y la cocina	

3	Gas de prueba	Combustibles que generan energía térmica. Las cuales se deben encontrar en condiciones normales	
4	Medidor de flujo	Mide la cantidad de gas que va utilizando la cocina en un determinado tiempo.	
5	Manómetro	Permite medir la presión en la cual se encuentra el gas.	
6	Cronómetro	Nos permite medir y controlar el tiempo establecido en procedimientos de evaluación.	
7	GPS	Indica las coordenadas, donde se realizaron las evaluaciones de las cocinas.	

8	Hidrómetro	Mide las condiciones ambientales (temperatura y la humedad del ambiente)	
---	------------	--	---

Fuente: Elaboración propia, 2019

### 3.1.2.1.2. Procedimiento de evaluación de capacidad térmica

Instalar el aparato a la línea de gas con medidor de flujo integrado. Encender el quemador bajo prueba y colocar su control en la posición de flama máxima durante 5 min.

Después de los 5 min, medir el consumo de gas que se obtiene en un lapso de 6 min por medio de un medidor de flujo laminar. Este paso debe repetirse en todos los quemadores; el resultado debe expresarse en m<sup>3</sup>/h.

Para la medición de la capacidad térmica de un horno, la puerta debe permanecer abierta durante su operación, si éste lo permite. Para hornos con sistema de seguridad contra puerta abierta, la prueba se realiza durante el periodo de calentamiento a la máxima capacidad del control.

La capacidad térmica nominal que se indica por el fabricante, se comprueba con la expresión siguiente:

$$CT = (V_0)(PC) \quad (\text{Ecuación 3.1.})$$

Donde:

CT, es la capacidad térmica en kJ/h.

$V_0$ , es el flujo volumétrico de gas seco bajo las condiciones de referencia [101.3 kPa a 288.15 K (15 °C)] en m<sup>3</sup>/h.

PC, es el poder calorífico nominal del gas de referencia que se especifica en la **Tabla 2.1**.

Las entradas de volumen corresponden a una medición y flujo de gas de referencia, bajo las condiciones de referencia [101.33 kPa a 288.15 K (15 °C)]. En la práctica, los valores que se obtienen durante las pruebas no corresponden a estas condiciones de referencia, por lo que deben corregirse para que alcancen los valores que se habrían obtenido (estimación), si durante las pruebas se hubieran alcanzado dichas condiciones en la salida del inyector. El flujo volumétrico se obtiene mediante la fórmula siguiente:

$$V_0 = V \sqrt{\frac{101.33 + P}{101.33} * \frac{P_a + P}{101.33} * \frac{288.15}{273.15 + t_g} * \frac{d}{d_r}} \quad (\text{Ecuación 3.2.})$$

En donde:

$V_0$ , es el flujo volumétrico de gas seco que se pudo haber obtenido bajo las condiciones de referencia, en m<sup>3</sup>/h, bajo las mismas condiciones.

$V$ , es el flujo volumétrico que se obtiene y se expresa, bajo condiciones de prueba, en m<sup>3</sup>/h.

$P_a$ , es la presión atmosférica en kPa (101.33).

$P$ , es la presión de suministro de gas en kPa.

$t_g$ , es la temperatura de gas en el punto de medición en °C.

$d$ , es la densidad relativa del gas utilizado, seco o húmedo, relativo al aire seco.

$d_r$ , es la densidad relativa del gas de referencia seco, relativo al aire seco que se especifica en la

La fórmula anterior aplica cuando el gas que se utiliza es seco (metano). Si se utiliza un medidor húmedo o si se utiliza gas saturado de humedad (propano), el valor “d” (densidad relativa del gas utilizado, relativo al aire seco) debe sustituirse por la densidad del gas húmedo “ $d_h$ ” que se calcula mediante la fórmula siguiente

$$d_h = \frac{(P_a + P - P_w)d + 0.622P_w}{P_a + P} \quad (\text{Ecuación 3.3.})$$

En donde:

$P_w$ , es la presión de vapor de agua expresada en kPa a la temperatura del gas ( $t_g$ ).

La presión de saturación de vapor ( $P_w$ ), a la temperatura del gas ( $t_g$ ), puede determinarse con la siguiente expresión matemática:

$$P_w = \left[ \frac{e^{\frac{21.094 - \frac{5262}{273.15 + t_g}}{10}}}{10} \right] \quad (\text{Ecuación 3.4.})$$

### 3.1.2.1.3. Proceso y manejo de datos

Los datos obtenidos fueron anotados en una hoja de datos específica **figura 3.2**. Con los datos se realizó los cálculos necesarios de las métricas analizadas mediante la herramienta Excel y posteriormente se realizó su evaluación.

La prueba se cumple cuando la capacidad térmica de los quemadores es la que se especifica en las características que se declaran para la prueba o en la etiqueta de marcado del producto, con una tolerancia de  $\pm 10\%$ .

**Figura 3.2.** Hoja de anotación para la prueba de capacidad térmica

Nro. de Prueba				
Temperatura Ambiente C				
Humedad Relativa. %				
Tipo de Cocina				
Sistema de combustión				
Gas de prueba				
Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal KJ/h				
Diámetro inyector mm				
Presión del gas Kpa				
Temperatura de gas C				
L1 m3				
L2 m3				
V m3/h				

Fuente: Elaboración propia, 2019

### 3.1.2.2. Eficiencia térmica

#### 3.1.2.2.1. Descripción de equipos y materiales

En la **tabla 3.2.** Se muestra los materiales y equipos que se emplearon para realizar las pruebas experimentales en la determinación de la eficiencia térmica para una cocina doméstica.

**Tabla 3.2.** Equipos y materiales que fueron empleados para realizar la prueba de eficiencia térmica

Nº	Equipo y material	Descripción	Figura
1	Cocina a gas	Aparato doméstico para la cocción de alimentos que usa GN o GLP	

2	Manguera de gas	Se utiliza como conductor de gas entre la línea de alimentación y la cocina	
3	Gas de prueba	Combustibles que generan energía térmica. Las cuales se deben encontrar en condiciones normales	
4	Medidor de flujo	Mide la cantidad de gas que va utilizando la cocina en un determinado tiempo.	
5	Manómetro	Permite medir la presión en la cual se encuentra el gas.	
6	Cronómetro	Nos permite medir y controlar el tiempo establecido en procedimientos de evaluación.	

7	Termómetro de gas	Mide la temperatura del gas en el momento de realizar la evaluación de la cocina.	
8	GPS	Indica las coordenadas, donde se realizaron las evaluaciones de las cocinas a gas.	
9	Hidrómetro	Mide las condiciones ambientales (temperatura y la humedad del ambiente)	
10	Termómetro digital	Determinar las condiciones de inicio y final de la temperatura del agua.	
11	Termocupla de vaina	Material conectado al termómetro que permite realizar lectura de temperatura.	

12	Balanza digital	Permite medir la masa del agua a utilizar para los estudios de evaluación.	
13	Utensilio de aluminio sin tapa	Permite contener el agua en la etapa inicial la prueba	
14	Utensilio de aluminio con tapa.	Permite contener el agua que se someterá a calentamiento.	

Fuente: Elaboración propia, 2019

### 3.1.2.2.2. Procedimiento de eficiencia térmica

El utensilio de aluminio con tapa para la aplicación de esta prueba debe tener como dimensiones 165 mm de altura, 2 mm de espesor de la lámina, fondo plano con un radio de 20 mm y un diámetro interior de 240 mm. Las dimensiones especificadas tienen una tolerancia de  $\pm 10\%$ .

Instalar el aparato a la línea de gas con medidor de flujo integrado. Colocar un recipiente sin tapa que contenga una masa de 1 kg de agua, con una tolerancia de  $\pm 10\%$ , a temperatura ambiente, sobre el quemador a probar; encender el quemador a máxima capacidad y dejar por un tiempo de 10 min, con una tolerancia de + 10 s.

A continuación, retirar el recipiente y colocar el utensilio de aluminio con tapa, conteniendo una masa de 2 kg de agua, con una tolerancia de  $\pm 10\%$ , a  $288.15 \text{ K} \pm 2 \text{ K}$  ( $15 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ ) de temperatura, sobre el quemador a probar. El termómetro debe colocarse al centro de la tapa y debe localizarse aproximadamente a la mitad de la profundidad del agua que contiene en el recipiente y a no menos de 1 cm del fondo del utensilio.

Simultáneamente a la colocación del recipiente a probar, registrar la lectura inicial del consumo de gas. Cuando se alcance un incremento de 70 K (70 °C) respecto a la temperatura inicial, cerrar el suministro de gas al quemador y registrar la lectura final del consumo de gas. Se realizan los cálculos de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$ET = \frac{418.6(P + PU)\Delta T}{(PC * \Delta Q * FC)} \quad (\text{Ecuación 3.5.})$$

En donde:

ET es la eficiencia térmica en términos porcentuales.

P es la masa del agua en kg.

PU es la masa del utensilio de aluminio en kg por 0.22 (incluyendo la tapa).

$\Delta T$  es el gradiente de temperatura del agua, en °C ( $T_2 - T_1$ ).

PC es el poder calorífico del gas de prueba, en kJ/m<sup>3</sup>.

$\Delta Q$  es el consumo de gas, en m<sup>3</sup> ( $Q_2 - Q_1$ ).

Q<sub>2</sub> es la lectura final, en m<sup>3</sup>.

Q<sub>1</sub> es la lectura inicial, en m<sup>3</sup>.

FC es el factor de corrección por temperatura y presión del lugar de prueba.

El factor de corrección puede obtenerse mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$FC = \frac{(P_{ag} - P_a)(288)}{(T + 273)(101.3 - 1.705)} \quad (\text{Ecuación 3.6.})$$

En donde:

P<sub>ag</sub>, es la presión absoluta del gas, en el lugar de la prueba, en kPa.

P<sub>a</sub>, es la presión de saturación del agua, a la temperatura del lugar de prueba, en kPa.

T, es la temperatura del lugar de prueba, en °C.

1.705, es la presión de saturación del agua a 288.15 K (15 °C), cuando se utilice un medidor de flujo húmedo.

La prueba se cumple cuando:

La eficiencia térmica es, como mínimo, de 45% para los quemadores de la sección superior con capacidad térmica hasta 11 500 kJ/h;

La eficiencia térmica es, como mínimo, de 30% para los quemadores de la sección superior con capacidad térmica mayor que 11 500 kJ/h.

### 3.1.2.2.3. Proceso y manejo de datos

Los datos obtenidos fueron anotados en una hoja de datos específica **figura 3.3.**, con los datos se realizó los cálculos necesarios de las métricas analizadas mediante la herramienta Excel y posteriormente se realizó su evaluación.

**Figura 3.3.** Hoja de anotación para la prueba de eficiencia térmica

Nro. de prueba				
Temp. Ambiente				
Humedad relativa				
Cocina				
Sistema de combustión				
Combustible				
Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
Diámetro. Esprea mm				
Presión del gas g Kpa				
Temperatura del gas C				
L1 m <sup>3</sup>				
L2 m <sup>3</sup>				
DL m <sup>3</sup>				
T1 C				
T2 C				
DT C				
t1 min				
t2 min				
Dt min				

Fuente: Elaboración propia, 2019

### 3.1.2.3. Combustión

#### 3.1.2.3.1. Descripción de equipos y materiales

**Tabla 3.3.** Equipos y materiales para realizar pruebas de combustión

Nº	Equipo y material	Descripción	Figura
1	Cocina a gas	Aparato domestico para la cocción de alimentos que usa GN o GLP	

2	Manguera de gas	Se utiliza como conductor de gas entre la línea de alimentación y la cocina	
3	Gas de prueba	Combustibles que generan energía térmica. Las cuales se deben encontrar en condiciones normales	
4	Medidor de flujo	Mide la cantidad de gas que va utilizando la cocina en un determinado tiempo.	
5	Manómetro	Permite medir la presión en la cual se encuentra el gas.	
6	Cronómetro	Nos permite medir y controlar el tiempo establecido en procedimientos de evaluación.	

7	GPS	Indica las coordenadas, donde se realizaron las evaluaciones de las cocinas a gas.	
8	Hidrómetro	Mide las condiciones ambientales (temperatura y la humedad del ambiente)	
9	Balanza digital	Permite medir la masa del agua a utilizar para las pruebas en la cocinas.	
10	Utensilio metálico sin tapa	Permite contener el agua que se someterá a calentamiento.	
11	Colector metálico de gases de emisión de quemadores superiores.	Permite almacenar las emisiones, producto de los gases de combustión.	

12	Analizador de gases	Mide diferentes indicadores producto de la combustión en los quemadores	
----	---------------------	---	---

Fuente: Elaboración propia, 2019

### 3.1.2.3.2. Procedimiento de combustión

Deben considerarse los siguientes factores:

- Los recipientes tienen una tolerancia de  $\pm 10\%$  en sus dimensiones;
- Las campanas colectoras para comal deben extenderse más allá del comal 30 mm como mínimo y 100 mm como máximo.

Instalar el aparato y realizar el ajuste de la cocina a gas. Para quemadores de la sección superior, con capacidad térmica hasta de 11 500 kJ/h, colocar un utensilio de 23 cm de diámetro externo por 14.5 cm de altura, que contenga 2 kg de agua, con una tolerancia de + 0.1 kg, a temperatura ambiente y centrarlo sobre el quemador a probar. Colocar la campana colectora de gases de combustión a una distancia de 15 mm, con una tolerancia de  $\pm 2$  mm, arriba de la superficie de cocimiento (parrillas superiores).

Después de 10 min de operar el quemador en flama máxima, colocar el tubo aspirador del analizador de gases en la chimenea de la campana, con el quemador encendido. Tomar la muestra durante un minuto; al término registrar el último valor que se obtiene en el analizador de gases. Repetir este procedimiento para cada uno de los quemadores.

Para quemadores de la sección superior, con una capacidad térmica mayor que 11 500 kJ/h, colocar un utensilio de 23 cm de diámetro externo por 14.5 cm de altura, que contenga 2.5 kg de agua, con una tolerancia de + 0.1 kg, a temperatura ambiente, y centrarlo sobre el quemador a probar.

En aparatos con quemador de comal, colocar el utensilio de 23 cm de diámetro externo por 14.5 cm de altura que contiene 2 kg, con una tolerancia de + 0.1 kg, de agua a temperatura ambiente y centrarlo sobre el comal, se coloca la campana colectora de los gases de combustión a 15 mm con una tolerancia de  $\pm 2$  mm arriba de la superficie de cocimiento del comal. Después de 10 min de operar el quemador a su capacidad máxima, colocar el tubo aspirador del analizador de gases en la chimenea de la campana. Tomar la muestra durante un minuto.

Al término registrar el último valor que se obtiene en el analizador de gases.

Realizar los cálculos de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$(\%CO)_{LA} = \frac{(\%CO_2)_{LA}(\%CO)_m}{(\%CO_2)_m} \quad (\text{Ecuación 3.7.})$$

En donde:

$(\%CO)_{LA}$ , es el % de monóxido de carbono, que se corrige, libre de aire.

$(\%CO_2)_{LA}$ , es el % de dióxido de carbono, de la combustión libre de aire y equivalente a 14% para Gas Licuado de Petróleo (Propano) y 12% para Gas Natural (Metano).

$(\%CO)_m$ , es el % de monóxido de carbono que se observa en el analizador.

$(\%CO_2)_m$ , es el % de dióxido de carbono que se observa en el analizador.

Expresión de resultados

La prueba se cumple cuando la concentración de monóxido de carbono (CO) no es mayor que 0.08% libre de aire es decir no mayor a 800 ppm de CO

### 3.1.2.3.3. Proceso y manejo de datos

Los datos obtenidos fueron anotados en una hoja de datos específica **figura 3.4.**, con los datos se realizó los cálculos necesarios de las métricas analizadas mediante la herramienta Excel y posteriormente se realizó su evaluación.

**Figura 3.4.** Hoja de anotación para prueba de combustión

Cocina				
Gas de prueba				
Temp. Ambiente. C				
Presión del gas Kpa				
Prueba 1				
Quemador	QSTI	QSF1	QSTD	QSFD
% CO m				
PPM CO m				
% CO2 m				
% O2				
Prueba 2				
Quemador	QSTI	QSF1	QSTD	QSFD
% CO m				
PPM CO m				
% CO2 m				
% O2				
Prueba 3				
Quemador	QSTI	QSF1	QSTD	QSFD
% CO m				
PPM CO m				
% CO2 m				
% O2				

Fuente: Elaboración propia, 2019

### 3.1.2. Identificación de los lugares óptimos de evaluación de cocinas a gas

Una vez identificado y definido el proceso de evaluación que se aplicará en las cocinas domesticas a gas utilizando como combustible el GN y GLP, se analizó bajo criterios técnicos los departamentos donde se procederán a realizar las evaluaciones de estos aparatos domésticos.

**Tabla 3.4.** Regiones de Bolivia.

Región	Departamento	Altitud msnm	Presion atm
Tierras bajas (100-1000 msnm)	Pando	202	0,9762
	Beni	370	0,9569
	Santa Cruz	457	0,9470
Vertiente oriental andina y valles interandinos (1100-3300 msnm)	Tarija	1866	0,8008
	Cochabamba	2558	0,7375
	Chuquisaca	2750	0,7208
Cordilleras altas y altiplano (3300-4200 msnm)	La Paz	3627	0,6493
	Oruro	3709	0,6430
	Potosí	3916	0,6274

Fuente: La conservación de la diversidad biológica en Bolivia. Silvia Estenssoro, 2009

En la **tabla 3.4.** Se observa los distintos departamentos del país los cuales se encuentran clasificados por regiones esto en función a la tasa de altitud que presentan.

Para la identificación y selección de los lugares o departamentos más representativos de cada región; se analizó que el factor con más relevante para este cometido es la demanda en el consumo de combustibles gaseosos tanto el GN como el GLP en el sector doméstico en cada una de las regiones; debido a que el uso de cocinas domesticas a gas es en mayor proporción que en el resto de los departamentos. Por tanto, se buscó y recopiló información confiable de los departamentos que presentan mayor demanda en el consumo de Gas Natural como también de Gas Licuado de Petróleo en el mercado nacional en los últimos años.

**Tabla 3.5.** Cantidad promedio de Gas Licuado de petróleo Comercializado en Bolivia

GAS LICUADO COMERCIALIZADO EN EL PAÍS							
EXPRESADO EN 10 <sup>3</sup> *(TONELADAS METRICAS)							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	PROM.
La Paz	110,84	108,97	110,35	106,98	111,17	111,96	110,04
Santa Cruz	108,92	111,21	114,00	116,58	122,60	125,16	116,41
Cochabamba	65,43	69,27	75,20	72,63	80,96	82446,00	74,32
Oruro	21,35	22,04	23,05	23,35	24,26	21,13	22,53
Potosi	18,82	19,59	19,55	20,15	21,23	25,50	20,81
Chuquisaca	18,38	18,40	18,74	18,32	18,80	19788,00	18,74
Tarija	18,59	18,92	17,85	17,90	18,48	18710,00	18,41
Beni	7,73	8,08	8,51	9,25	10,14	10,52	9,04
Pando	1,22	1,28	1,44	1,66	1,93	2,12	1,61

Fuente: Informe Anual YPFB, 2016

En la **tabla 3.5.** Se observa que los departamentos con mayor demanda de GLP en el mercado nacional son: La Paz con 110.044 Ton/año; Santa Cruz con 116.414 Ton/año y Cochabamba con 74.324 Ton/año.

**Tabla 3.6.** Volumen comercializado en el sector doméstico de GN en Bolivia en MPC

GESTION 2016															
CIUDAD	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL	CONSUMO PRO	PORCENTAJE %
COCHABAMBA	54.509	55.425	49.845	54.669	51.290	54.216	70.270	56.415	60.275	57.899	59.673	53.739	678225	56518,75	13,36
SUCRE	21.994	21.495	22.105	21.888	22.099	23.773	24.171	23.464	24.063	21.891	23.238	20.110	270291	22524,25	5,32
TARIJA	47.087	42.647	42.679	49.966	52.850	63.104	67.822	55.994	59.565	47.937	47.459	46.944	624054	52004,5	12,29
SANTA CRUZ	45.659	46.707	51.347	51.991	59.270	64.701	62.748	58.730	52.586	68.937	60.194	58.008	680878	56739,833	13,41
LA PAZ	167.322	162.625	161.847	166.881	170.436	185.416	178.288	180.977	187.756	181.007	184.105	171.354	2098014	174834,5	41,33
ORURO	29.906	31.795	29.289	28.187	31.962	34.775	37.020	38.086	37.121	33.999	34.183	32.005	398328	33194	7,85
POTOSI	24.763	23.125	21.495	27.059	27.761	29.173	31.409	30.472	30.014	29.174	27.293	25.197	326935	27244,583	6,44
BENI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,0833333	0,00002
													5076726	423060,5	100

Fuente: Informe ANH, 2016

En la **tabla 3.6.** Se observa que los departamentos con mayor demanda de GN en el mercado nacional son: La Paz con 174834.5 MPC; Santa Cruz con 56739.833 MPC y Cochabamba con 56518.75MPC.

Como se puede observar en la **tabla 3.5., tabla 3.6.,** los departamentos que presentan mayor demanda de los combustibles fósiles tanto en el consumo de Gas Natural como de Gas Licuado de Petróleo a nivel nacional son: Santa Cruz, Cochabamba y La Paz.

Debido a que el departamento de La Paz, por su topografía presenta una diferencia considerable en la altitud próxima a los 500 msnm, se vio conveniente realizar los estudios de evaluación en la Ciudad de La Paz y en la Ciudad de El Alto., ya que se consideran que estas muestras son representativas y colaborarán en el propósito del presente proyecto.

**Tabla 3.7.** Lugares identificados para la evaluación de cocinas a gas

Nro.	Región	Departamento	Lugar de evaluación	Altitud nominal (msnm)
1	Tierras bajas	Santa Cruz	Ciudad de Santa Cruz	415
2	Valles interandinos	Cochabamba	Ciudad de Cochabamba	2558
3	Cordilleras altas	La Paz	Ciudad de La Paz	3640
4	Cordilleras altas	La Paz	Ciudad de El Alto	4070

Fuente: Elaboración propia, 2019

### 3.2. Analizar la influencia y efecto de factores externos e internos sobre las métricas de evaluación del desempeño energético y emisiones para cocinas domesticas a gas en los sitios identificados.

En el presente análisis de influencia, se empleó el software Minitab en el cual se realizó el diseño factorial, el mismo es un experimento que nos permite analizar dos o más factores cada uno con distintos valores o niveles; estudiando el efecto de cada factor sobre la variable respuesta; en nuestro caso se estudió los siguientes factores de interés : altitud del lugar de prueba y tipo de cocina doméstica (según la posición del inyector), ya que son los factores de estudio y posterior análisis en el proyecto. Se realizó las pruebas con ambos combustibles gaseosos de uso doméstico (GN y GLP).

El mismo estudio nos ayudó a analizar y definir las pruebas que son necesarias en función del grado de efecto que tenga sobre cada indicador definido.

Se decidió utilizar un diseño factorial  $2^2$  con tres replicas, lo cual da un total de 12 corridas del proceso; los niveles de altitud de estudio son 415 y 4070 msnm y los niveles del tipo de cocina se clasifico por: tipo 1 y tipo 2 ya que cuentan con diferente sistema de combustión por la posición de la esprea en el quemador de la cocina domestica a gas. Tomando como respuestas del proceso:

- a) Capacidad térmica (kJ/m<sup>3</sup>)
- b) Eficiencia térmica (%)
- c) Combustión (ppm CO)

Se considera tomar un punto central para determinar la linealidad o curvatura del comportamiento.

*Tabla 3.8. Niveles de los factores de estudio*

FACTOR	NIVELES		UNIDAD
A: Tipo de cocina	1	2	Unidad
B: Altitud	415	4110	msnm

*Fuente: Elaboración propia, 2019*

La matriz de combinación del diseño experimental y sus resultados se muestra en la **tabla 3.9. y 3.10.**, se analizó para cada tipo de quemador en forma independiente. Los cálculos relativos a las variables experimentales se detallan en el ANEXO, para ambos tipos de gases y para cada tipo de quemador.

En las siguientes figuras se muestran cómo fueron realizadas las mediciones de los indicadores de desempeño energético y emisiones en el desarrollo de las pruebas. Con diferentes tipos de cocina las cuales se desarrollaron en Santa Cruz 415 msnm y El Alto 4110 msnm.

**Figura 3.5. Prueba de Capacidad térmica-Cocina tipo 1**



Fuente: Elaboración propia, 2019

**Figura 3.6. Prueba de Capacidad térmica-Cocina tipo 2.**



Fuente: Elaboración propia, 2019

**Figura 3.7. Prueba de Eficiencia térmica Cocina tipo 1**



Fuente: Elaboración propia, 2019

**Figura 3.8. Prueba de Eficiencia térmica Cocina tipo 2**



Fuente: Elaboración propia, 2019

**Figura 3.9. Prueba de Combustión Cocina tipo 1**



Fuente: Elaboración propia, 2019

**Figura 3.10. Prueba de Combustión Cocina tipo 2**



Fuente: Elaboración propia, 2019

A continuación, se muestra la matriz de combinación del diseño experimental para el GN y el tipo de cocina, en la cual las variables de respuesta son: capacidad, eficiencia térmica y combustión.

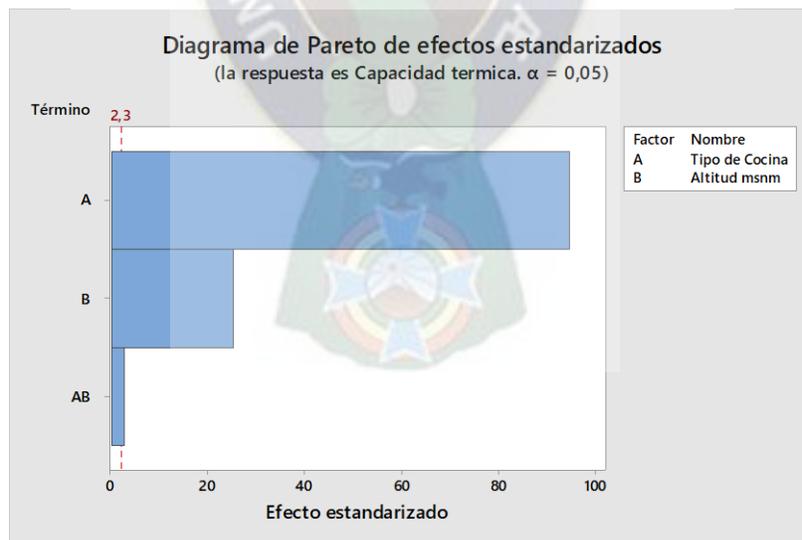
**Tabla 3.9.** Matriz experimental de combinación diseño 2<sup>2</sup>-GN- Quemador estándar

Orden Corrida	Pt Central	Bloque	Fact1: Tipo de cocina	Fact2: Altitud msnm	Resp1: Cap. Térmica (kJ/m3)	Resp2: Eficiencia térmica (%)	Resp3: Combustión (ppm)
1	1	1	Tipo 2	430	6763,69	64,4	37
2	1	1	Tipo 1	430	5667,8	67,77	0
3	1	1	Tipo 2	4110	6457,48	62,22	161
4	1	1	Tipo 1	4110	5352,65	62,32	63
5	1	1	Tipo 2	4110	6429,16	62,18	181
6	1	1	Tipo 1	4110	5408,99	62,44	58
7	1	1	Tipo 1	4110	5399,61	62,99	58
8	1	1	Tipo 2	430	6775	64,05	27
9	1	1	Tipo 1	430	5633,59	67,45	12,5
10	1	1	Tipo 1	430	5644,99	67,39	17,5
11	1	1	Tipo 2	430	6786,31	62,24	32
12	1	1	Tipo 2	4110	6457,48	62,25	193

Fuente: Elaboración propia, 2019

### 3.2.1. Diseño factorial para Capacidad térmica empleando GN

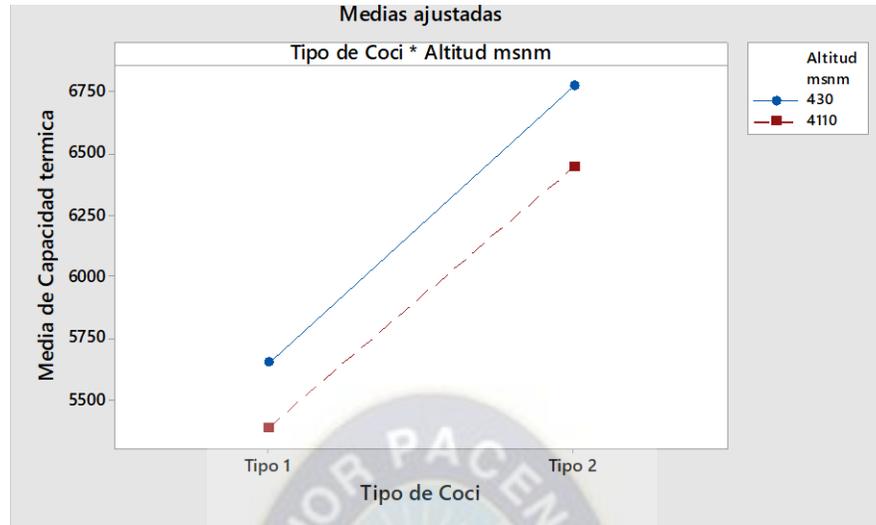
**Gráfico 3.1.** Diagrama de Pareto para Capacidad térmica-GN



Fuente: Elaboración propia, 2019

En el **gráfico 3.1.** Se muestra que el tipo de cocina tuvo un mayor efecto en comparación de la altitud el cual presenta un efecto el cual también es significativo, ya que ambos factores sobrepasaron la línea que limita los efectos, con efecto significativo por separado; en cambio. La interacción de estos dos factores no tuvo un efecto en esta métrica.

**Gráfico 3.2.** Gráfico de interacción de Capacidad térmica-GN

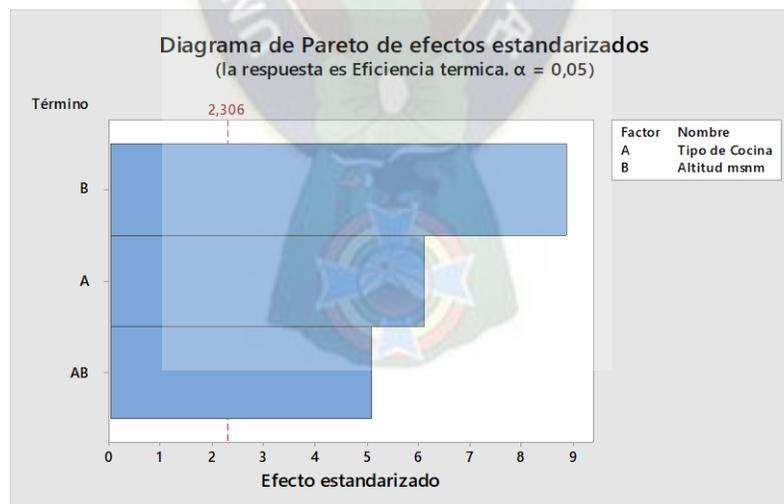


Fuente: Elaboración propia, 2019

En la **gráfico 3.2.**, se observó los valores más altos y bajos de capacidad térmica, para la cocina tipo 1 se obtuvo un valor promedio bajo de 5387.10 kJ/h y un valor promedio alto de 5648.80 kJ/h; para la cocina tipo 2, esta presento un valor promedio bajo de 6448.20 kJ/h y un valor promedio alto de 6775 kJ/h.

### 3.2.2. Diseño factorial para Eficiencia térmica empleando GN

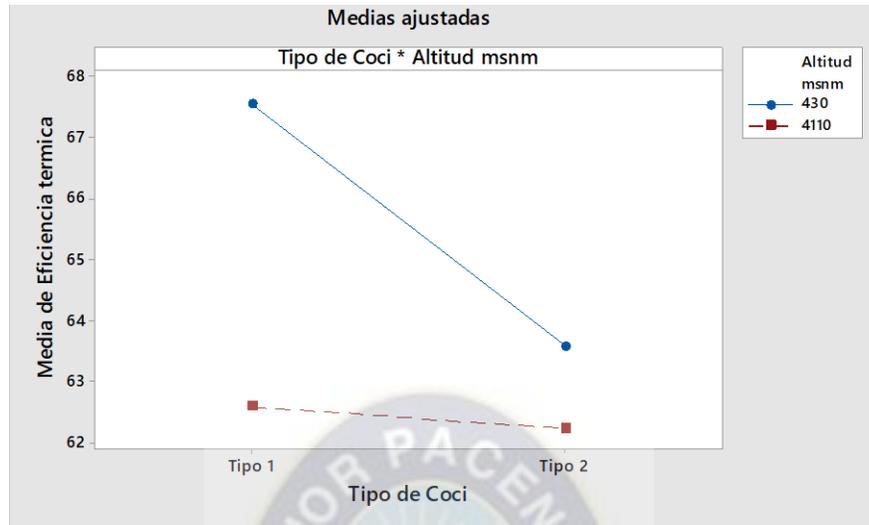
**Gráfico 3.3.** Diagrama de Pareto para Eficiencia térmica-GN.



Fuente: Elaboración propia, 2019

En el **gráfico 3.3.**, se observa que el factor que tiene mayor efecto en la variable respuesta es la altitud seguido por el tipo de cocina y la interacción de ambos factores. Ya que estos factores sobrepasan la línea que limita los efectos (línea t-valor del efecto)

**Gráfico 3.4.** Gráfico de interacción para Eficiencia térmica-GN.

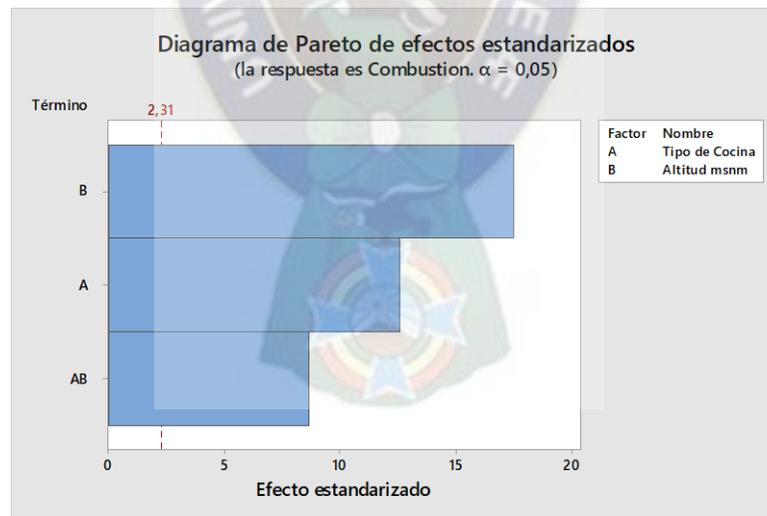


Fuente: Elaboración propia, 2019

En la **gráfico 3.4.**, se observó los valores más altos y bajos de eficiencia térmica, para la cocina tipo 1 se obtuvo un valor promedio bajo de 62.58 % y un valor promedio alto de 67.53 %; para la cocina tipo 2, esta presentó un valor promedio bajo de 62.21 % y un valor promedio alto de 63.56 %.

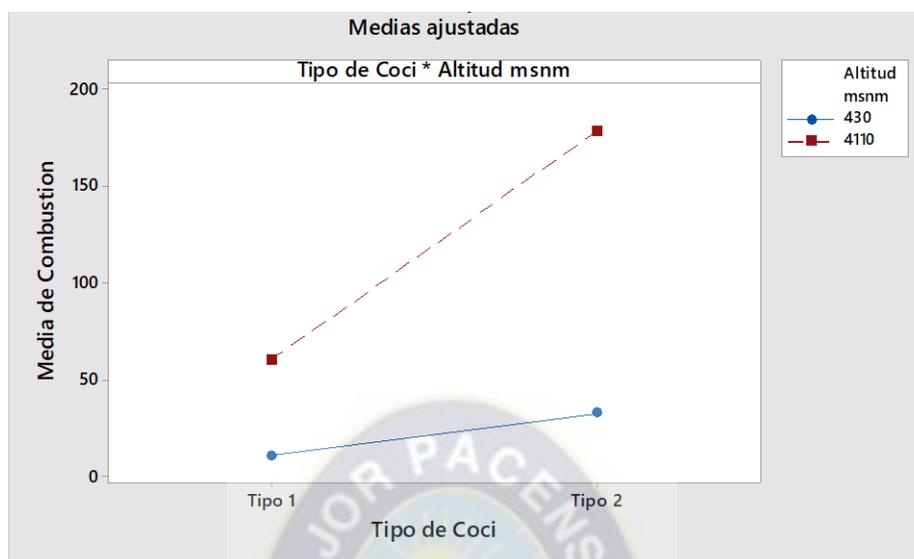
### 3.2.3. Diseño factorial para Combustión empleando GN

**Gráfico 3.5.** Diagrama de Pareto de Combustión-GN.



Fuente: Elaboración propia, 2019

En el **gráfico 3.5.**, se muestra que la variación de la altitud tuvo el mayor efecto en comparación del tipo de cocina el cual también es significativo, al mismo tiempo se observó que la interacción de estos dos factores tuvo un efecto en esta métrica, ya que los dos factores y la interacción entre ambos sobrepasaron la línea que limita los efectos.

**Gráfico 3.6.** Gráfica de interacción para Combustión-GN.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el **gráfico 3.6.**, se observó los valores más altos y bajos de la combustión, para la cocina tipo 1 se obtuvo un valor promedio bajo de 10 ppm de CO y un valor promedio alto de 59.67 ppm de CO; para la cocina tipo 2, esta presentó un valor promedio bajo de 32 ppm de CO y un valor promedio alto de 178.33 ppm CO. Como se observa en ambos casos la altitud varía en forma lineal con la variable respuesta.

A continuación, en la tabla 3.10 se muestra la matriz de combinación del diseño experimental para el GLP y el tipo de cocina, en la cual las variables de respuesta son: capacidad, eficiencia térmica y combustión.

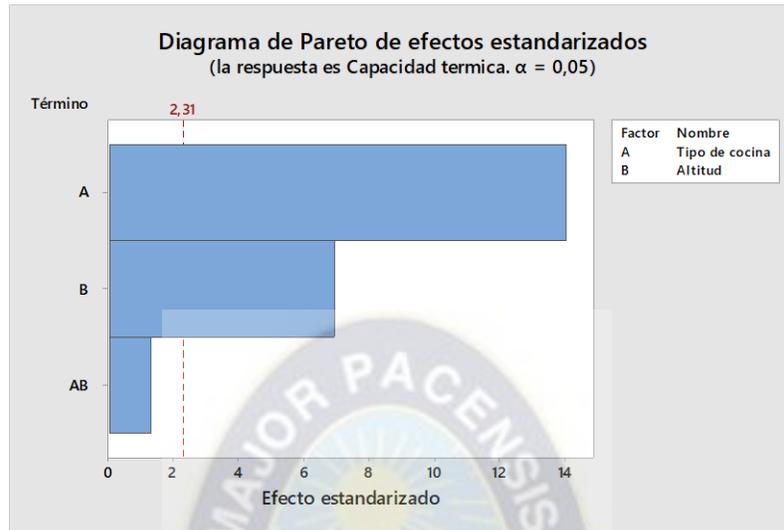
**Tabla 3.10.** Matriz experimental de combinación diseño  $2^2$ - GLP- Quemador estándar.

Orden Corrida	Pt Central	Bloque	Fact1: Tipo de cocina	Fact2: Altitud msnm	Resp1: Cap. Térmica (kJ/m <sup>3</sup> )	Resp2: Eficiencia térmica (%)	Resp3: Combustión (ppm)
1	1	1	Tipo 1	4110	6004,96	66,71	173
2	1	1	Tipo 2	4110	7127,84	63,8	612
3	1	1	Tipo 2	430	7687,69	65,34	64
4	1	1	Tipo 1	430	6464,65	68,33	56
5	1	1	Tipo 2	4110	7225,48	64,03	575
6	1	1	Tipo 2	430	7493,56	65,69	62
7	1	1	Tipo 1	430	6406,41	69,09	50
8	1	1	Tipo 1	430	6843,21	68,63	82
9	1	1	Tipo 2	4110	7095,29	64,51	576
10	1	1	Tipo 1	4110	5846,29	66,8	218
11	1	1	Tipo 2	430	7648,86	65,87	76
12	1	1	Tipo 1	4110	5846,29	67,38	235

Fuente: Elaboración propia, 2019

### 3.2.4. Diseño factorial para Capacidad térmica empleando GLP

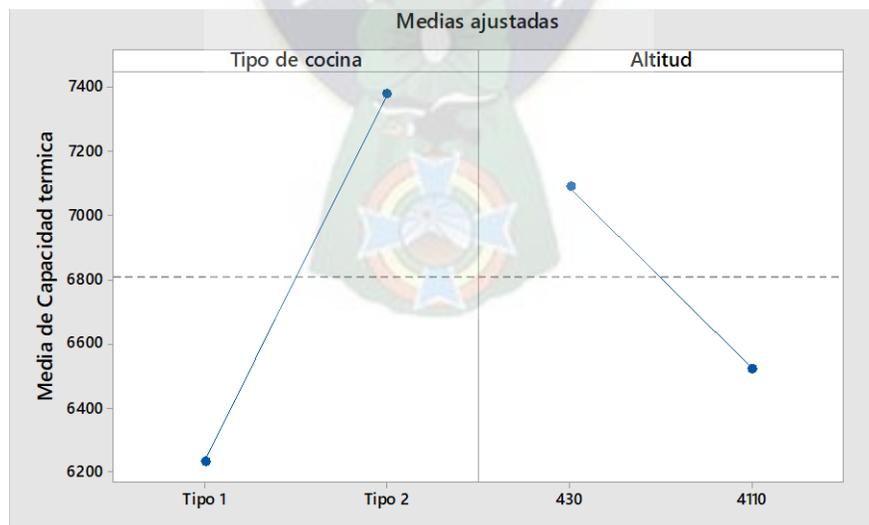
**Gráfico 3.7.** Diagrama de Pareto para Capacidad térmica-GLP.



Fuente: Elaboración propia, 2019

En el **gráfico 3.7.**, se muestra que el tipo de cocina tuvo un gran efecto en comparación de la altitud el cual también es significativo ya que ambos factores sobrepasaron la línea que limita los efectos, con efecto significativo por separado; en cambio. La interacción de estos dos factores no tuvo un efecto en esta métrica.

**Gráfico 3.8.** Gráfico de efectos principales para Capacidad térmica-GLP.



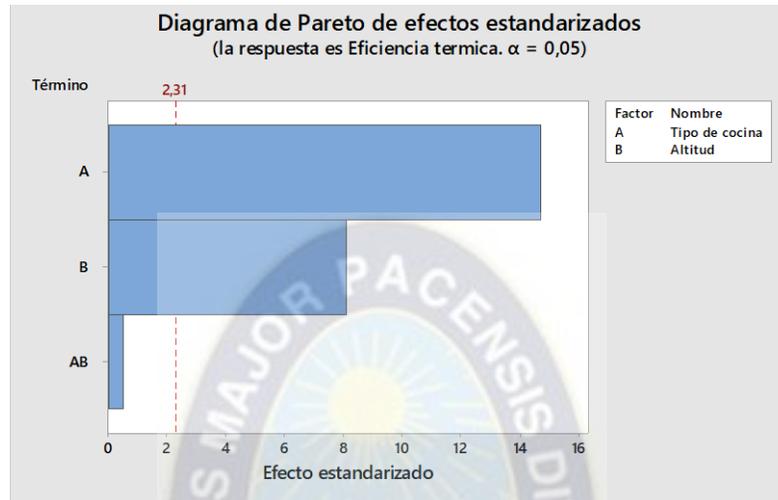
Fuente: Elaboración propia, 2019

En el **gráfico 3.8.**, se muestra el nivel más bajo y más alto de la capacidad térmica respecto al tipo de cocina, el nivel bajo con un valor medio de 6235.30 kJ/h para la cocina tipo 1 y un valor medio alto de

7379.79 kJ/h para la cocina tipo 2; respecto a la altitud se obtuvo un valor promedio bajo de 6524.40 kJ/m<sup>3</sup> para una altitud de 4110 msnm y un valor promedio alto de 7090.73 kJ/h a una altitud de 430 msnm.

### 3.2.5. Diseño factorial para Eficiencia térmica empleando GLP

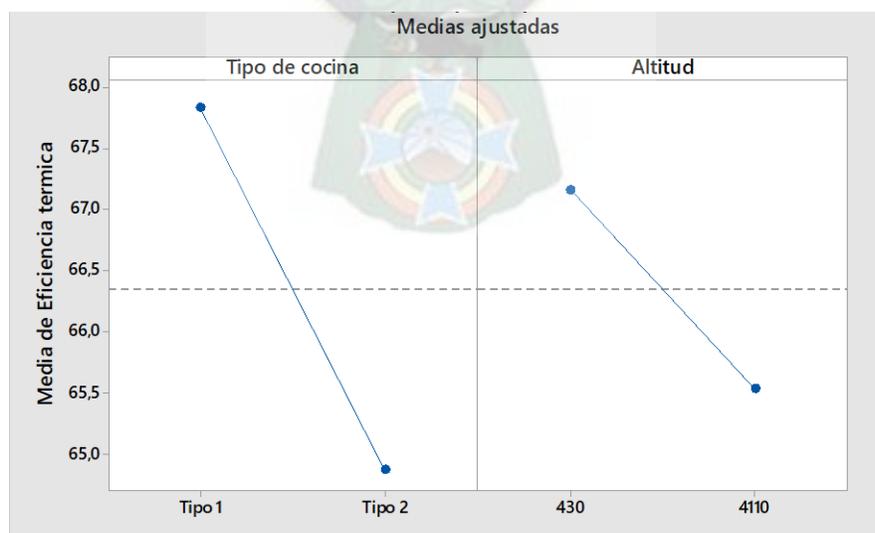
**Gráfico 3.9.** Diagrama de Pareto para Eficiencia térmica-GLP.



Fuente: Elaboración propia, 2019

En el **gráfico 3.9.**, se muestra que el tipo de cocina tuvo un gran efecto en comparación de la altitud el cual también es significativo ya que ambos factores sobrepasaron la línea que limita los efectos, con efecto significativo por separado; en cambio. La interacción de estos dos factores no tuvo un efecto en esta métrica.

**Gráfico 3.10.** Gráfico de efectos principales para Capacidad térmica-GLP



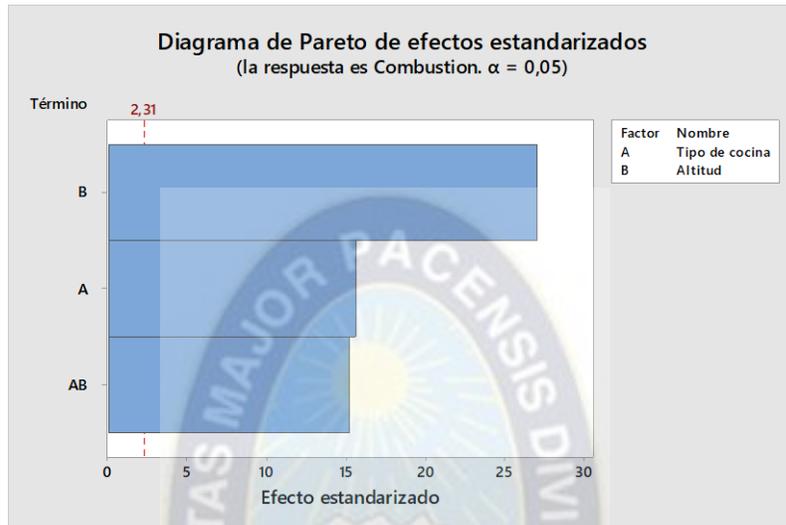
Fuente: Elaboración propia, 2019

En el **gráfico 3.10.**, se muestra el nivel más bajo y más alto de la eficiencia térmica respecto al tipo de cocina, el nivel bajo con un valor medio de 64.87 % para la cocina tipo 2 y un valor medio alto de 67.82 %

para la cocina tipo 1; respecto a la altitud se obtuvo un valor promedio bajo de 65.53 % para una altitud de 4110 msnm y un valor promedio alto de 67.15 % a una altitud de 430 msnm.

### 3.2.6. Diseño factorial para Combustión empleando GLP

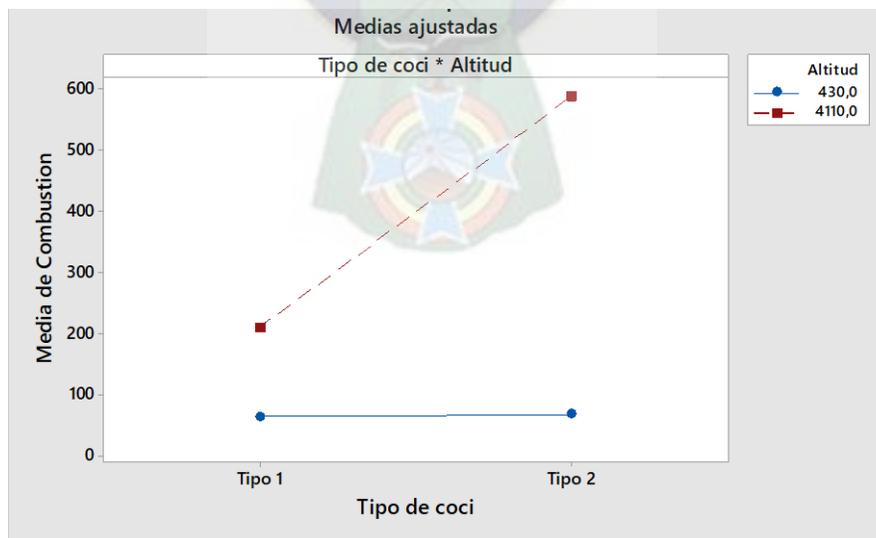
**Gráfico 3.11.** Diagrama de Pareto para Combustión-GLP



Fuente: Elaboración propia, 2019

En el **gráfico 3.11.**, se muestra que la variación de la altitud tuvo un gran efecto en comparación del tipo de cocina el cual también es significativo, ya que ambos factores sobrepasaron la línea que limita los efectos, al mismo tiempo se observó que la interacción de estos dos factores tuvo un efecto en esta métrica.

**Gráfico 3.12.** Gráfico de interacción para Combustión-GLP



Fuente: Elaboración propia, 2019

Como se observa en el **gráfico 3.12.**, a una altitud de 430 msnm las emisiones son similares para ambos tipos de cocina con una media de 62.67 ppm de CO para el tipo 1 y 67.33 ppm de CO para el tipo 2, a una

altitud de 4110 msnm un valor promedio bajo de 208.67 ppm de CO para la cocina tipo 1 y un valor alto de 587.67 ppm de CO para la cocina tipo 2.

Como se pudo observar en el análisis realizado en el programa estadístico Minitab, ambos factores seleccionados (Altitud del lugar de prueba y el tipo de cocina) influyen o tienen un efecto significativo en todas las variables de respuesta : Capacidad térmica, eficiencia térmica y combustión por tanto es necesario realizar pruebas experimentales dentro de los límites seleccionados

### 3.2.7. Determinación de modelos de respuesta

Según los resultados del anterior punto y los análisis realizados se determina los modelos que describen el comportamiento de las variables para cada tipo de combustible.

#### 3.2.7.1. Modelos de respuesta para el Gas Natural

Los modelos matemáticos que describen el comportamiento de cada indicador, dado para cada tipo de quemador, cuando se emplea el Gas Natural como combustible, se describen a continuación:

##### Quemador estándar

Los modelos matemáticos que describe cada indicador para el quemador estándar son:

$$\begin{aligned} \text{Capacidad térmica [kJ/m}^3\text{]} &= 6064,73 + 546,79 [\text{Tipo de Cocina}] - 147,17 [\text{Altitud}] \\ &\quad - 16,31 [\text{Tipo de Cocina}] * [\text{Altitud}] \quad (\text{Ecuación 3.8.}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Eficiencia térmica } [\eta\%] &= 63,975 - 1,085 [\text{Tipo de Cocina}] - 1,575 [\text{Altitud}] \\ &\quad + 0,902 [\text{Tipo de Cocina}] * [\text{Altitud}] \quad (\text{Ecuación 3.9.}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Combustión [ppm CO]} &= 70,00 + 35,17 [\text{Tipo de Cocina}] + 49,00 [\text{Altitud}] \\ &\quad + 24,17 [\text{Tipo de Cocina}] * [\text{Altitud}] \quad (\text{Ecuación 3.10.}) \end{aligned}$$

##### Quemador Súper

Los modelos matemáticos que describen el comportamiento de los indicadores para el quemador súper son:

$$\begin{aligned} \text{Capacidad térmica [kJ/m}^3\text{]} &= 6971,6 + 736,5 [\text{Tipo de cocina}] - 0,07078 [\text{Altitud}] \\ &\quad - 0,00382 [\text{Tipo de cocina}] * [\text{Altitud}] \quad (\text{Ecuación 3.11.}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Eficiencia térmica } [\eta\%] &= 65,560 - 2,025 [\text{Tipo de cocina}] - 0,000827 [\text{Altitud}] \\ &\quad + 0,000519 [\text{Tipo de cocina}] * [\text{Altitud}] \quad (\text{Ecuación 3.12.}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Combustión [ppm CO]} &= 82,0 + 21,7 [\text{Tipo de cocina}] + 0,07907 [\text{Altitud}] \\ &\quad + 0,03932 [\text{Tipo de cocina}] * [\text{Altitud}] \quad (\text{Ecuación 3.13.}) \end{aligned}$$

### 3.2.7.2. Modelo de respuesta para el Gas Licuado de Petróleo

Los modelos matemáticos que describen el comportamiento de cada indicador, dado para cada tipo de quemador, cuando se emplea el Gas Licuado de Petróleo como combustible, se describen a continuación:

#### Quemador estándar

Los modelos matemáticos que describen el comportamiento de los indicadores para el quemador estándar son:

$$\begin{aligned} \text{Capacidad térmica [kJ/m}^3\text{]} &= 7156,9 + 506,9 [\text{Tipo de cocina}] - 0,1539 [\text{Altitud}] \\ &+ 0,0288 [\text{Tipo de cocina}] * [\text{Altitud}] \quad (\text{Ecuación 3.14.}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Eficiencia térmica } [\eta\%] &= 67,348 - 1,537 [\text{Tipo de cocina}] - 0,000440 [\text{Altitud}] \\ &+ 0,000027 [\text{Tipo de cocina}] * [\text{Altitud}] \quad (\text{Ecuación 3.15.}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Combustión [ppm CO]} &= 26,07 - 19,54 [\text{Tipo de cocina}] + 0,09053 [\text{Altitud}] \\ &+ 0,05086 [\text{Tipo de cocina}] * [\text{Altitud}] \quad (\text{Ecuación 3.16.}) \end{aligned}$$

#### Quemador súper

Los modelos matemáticos que describen el comportamiento de los indicadores para el quemador súper son:

$$\begin{aligned} \text{Capacidad térmica [kJ/m}^3\text{]} &= 7994,7 + 626,5 [\text{Tipo de cocina}] - 0,1495 [\text{Altitud}] \\ &+ 0,0554 [\text{Tipo de cocina}] * [\text{Altitud}] \quad (\text{Ecuación 3.17.}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Eficiencia térmica } [\eta\%] &= 66,564 - 2,172 [\text{Tipo de cocina}] - 0,000358 [\text{Altitud}] \\ &+ 0,000128 [\text{Tipo de cocina}] * [\text{Altitud}] \quad (\text{Ecuación 3.18.}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Combustión [ppm CO]} &= 254,7 + 146,9 [\text{Tipo de cocina}] + 0,12789 [\text{Altitud}] \\ &+ 0,01187 [\text{Tipo de cocina}] * [\text{Altitud}] \quad (\text{Ecuación 3.19.}) \end{aligned}$$

### 3.3. Determinar una línea base de desempeño energético y emisiones para cocinas domésticas a gas en diferentes condiciones geográficas para análisis y comparación.

Se evidencio que los niveles de altitud y el tipo de cocina afectan de forma significativa sobre las variables de respuesta en ambos combustibles de uso doméstico (gas natural y gas licuado de petróleo). Por tanto se trabajó dentro de un rango de altitud de 415 msnm y 4070 msnm; con los dos tipos de cocina, los cuales presentan distintos sistemas de combustión debido a la posición de la esprea.

Previamente al proceso de evaluación de artefactos domésticos en los lugares ya identificados, se realizó un estudio previo de un factor directo como es la manguera de gas y así ver si existe influencia o efecto significativo al variar el diámetro interna del mismo sobre el desempeño energético de las cocinas a gas.

### 3.3.1. Análisis de influencia del diámetro interno de mangueras de gas en cocinas domésticas.

El mercado nacional cuenta con una variedad de mangueras de gas nivel doméstico de diferentes marcas los cuales llegan normalizados y deben cumplir ciertas características: como ser: el material de elaboración, presión de operación máxima, inflamabilidad.

Para este propósito se realizó una búsqueda en el mercado formal e informal de mangueras para gas, del cual concluimos que llegan a nuestro país mangueras de dos diámetros internos el primero de un valor de 8.0 mm y el segundo de 9.5 mm; los mismos son independientes de la marca del fabricante.

Se realizó pruebas para ambas cocinas con objeto de determinar si existe influencia en el flujo volumétrico debido a la variación del diámetro interno de las mangueras, ya que esta métrica de evaluación está ligada en forma directa con la capacidad térmica y eficiencia térmica.

#### 3.3.1.1. Análisis de influencia del diámetro interno de mangueras de gas en la Cocina doméstica “tipo 1”

Se realizó la medición del flujo volumétrico bajo procedimientos establecidos en normativas internacionales vigentes descritas en el punto 3.1.1.1.2.; Realizando 3 repeticiones por cada manguera de gas, para realizar el análisis estadístico y determinar si la variación entre ambas medias de diámetro interno son significativas.

**Tabla 3.11.** Flujo volumétrico promedio de los quemadores para Cocina tipo 1

Diámetro mm	8,5	9,5
Prueba 1 ( $m^3/h$ )	0,0072	0,0070
Prueba 2 ( $m^3/h$ )	0,0071	0,0070
Prueba 3 ( $m^3/h$ )	0,0072	0,0069

Fuente: Elaboración propia, 2019

Para el análisis de las mediciones del flujo volumétrico se realizó la prueba de hipótesis para ambas muestras.

#### Prueba T

$\mu_1$ : media de D. int. de 8,5 mm

$\mu_2$ : media de D. int. de 9,5 mm

Diferencia:  $\mu_1 - \mu_2$

#### Estadísticas descriptivas

Diámetro Interno (mm)	Nro. De pruebas	Media ( $m^3/h$ )	Desviación Estándar	Error estándar de la media
8,5	3	0,0071667	0,0000577	0,000033
9,5	3	0,0069667	0,0000577	0,000033

### Estimación de la diferencia

Diferencia	Desviación Estándar Agrupada	Límite inferior de 95 % para la diferencia
0,000200	0,000058	0,000100

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : flujo vol. d1 ( $\mu_1$ ) = flujo vol. d2 ( $\mu_2$ )

Hipótesis alterna  $H_1$ : flujo vol. d1 ( $\mu_1$ )  $\neq$  flujo vol. d2 ( $\mu_2$ )

Valor T	GL	Valor P
4.24	4	0,007

Como se observa el valor obtenido P de 0.007, es menor que el nivel de significación establecido de 0.05, por tanto se rechaza la hipótesis nula, es decir que existe diferencia significativa de las medias de diámetro interno de las mangueras de gas, por tanto para las pruebas solo se trabajara con una manguera de gas así garantizar que no se tenga una influencia en los resultados.

#### 3.3.1.2. Análisis de influencia del diámetro interno de mangueras de gas en la Cocina doméstica “tipo 2”

Se realizó la medición del flujo volumétrico bajo procedimientos establecidos en normativas internacionales vigentes descritas en el punto 3.1.1.1.2.; Realizando 3 repeticiones por cada manguera de gas, para realizar el análisis estadístico y determinar si existe variación entre ambas medias.

**Tabla 3.12.** Flujo volumétrico promedio de los quemadores para Cocina tipo 2

Diámetro (mm)	8,5	9,5
Prueba 1 ( $m^3/h$ )	0,0075	0,0074
Prueba 2 ( $m^3/h$ )	0,0076	0,0073
Prueba 3 ( $m^3/h$ )	0,0075	0,0074

Fuente: Elaboración propia, 2019

Para el análisis de las mediciones del flujo volumétrico se realizó la prueba de hipótesis para ambas muestras.

### Prueba T

$\mu_1$ : media de D. int. de 8,5 mm

$\mu_2$ : media de D. int. de 9,5 mm

Diferencia:  $\mu_1 - \mu_2$

### Estadísticas descriptivas

Diámetro Interno (mm)	Nro. De pruebas	Media (m3/h)	Desviación Estándar	Error estándar de la media
8,5	3	0,0075333	0,0000577	0,000033
9,5	3	0,0073667	0,0000577	0,000033

### Estimación de la diferencia

Diferencia	Desviación Estándar Agrupada	Límite inferior de 95 % para la diferencia
0,000167	0,000058	0,000066

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : flujo vol. d1 ( $\mu_1$ ) = flujo vol. d2 ( $\mu_2$ )

Hipótesis alterna  $H_1$ : flujo vol. d1 ( $\mu_1$ )  $\neq$  flujo vol. d2 ( $\mu_2$ )

Valor T	GL	Valor P
3,54	4	0,012

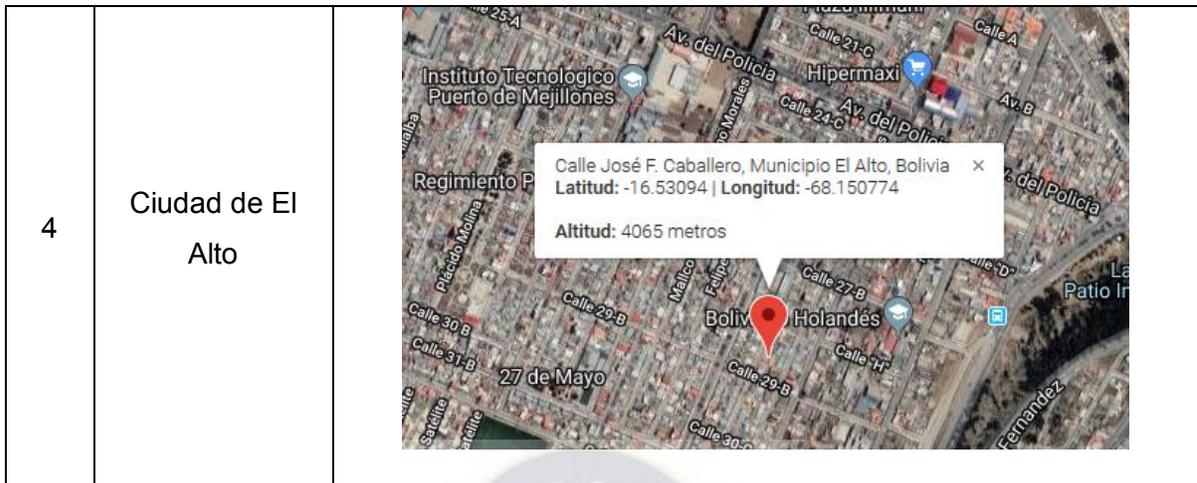
Como se observa el valor obtenido P de 0.012, es menor que el nivel de significación establecido de 0.05, por tanto se rechaza la hipótesis nula, es decir que existe diferencia significativa de las medias de diámetro interno de las mangueras de gas, por tanto para las pruebas solo se trabajara con una manguera de gas así garantizar que no se tenga una influencia en los resultados.

### 3.3.2. Realizar las pruebas de evaluación del desempeño energético y emisiones de cocinas domesticas a gas en diferentes regiones de nuestro país

Ya identificado los lugares de evaluación bajo el criterio del consumo anual de los combustibles de uso doméstico se realizó al proceso de evaluación de las métricas seleccionadas: capacidad térmica, eficiencia térmica y combustión en las cocinas domésticas a gas.

Figura 3.11. Lugares de evaluación de las cocinas domesticas a gas.

Nro.	Lugar de evaluación	Imagen satelital del lugar de prueba.
1	Ciudad de Santa Cruz	
2	Ciudad de Cochabamba	
3	Ciudad de La Paz	



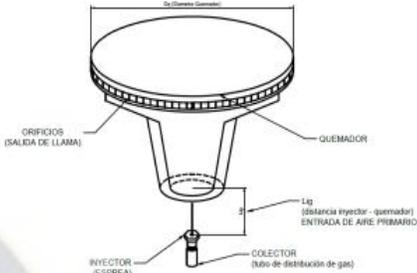
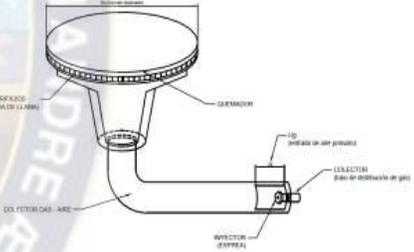
Fuente: Elaboración propia, 2019

En la **figura 3.11.**, muestra los lugares puntuales por medio Google Earth, donde fueron realizados los estudios de evaluación de las cocinas a gas, en la cual indica: latitud, longitud y altitud.

Respecto a las cocinas domesticas evaluadas en el presente proyecto, se hizo la adquisición de 2 aparatos domésticos que cumplen ciertas características:

- Son cocinas domesticas portátiles, debido a que se debe realizar el traslado de equipos y materiales a diferentes lugares del país.
- Son aparatos domésticos nuevos, ya que el uso constante de cocinas domesticas a gas, va afectando al desempeño energético.
- Cuentan con diferente sistema de combustión debido a la posición de inyector.
- Ambas cocinas cuentan con una válvula multigas, es decir que pueden operar con GN y GLP realizando el cambio de inyectores que vienen desde fábrica.
- Cuentan con especificaciones técnicas lo cual nos permite realizar la comparación de los indicadores de desempeño a nuestras condiciones climáticas.

Figura 3.12. Esquemas de los sistemas de Combustión de las cocinas a gas.

Tipo de cocina	Esquema de Cocina	Esquema interno de la Cocina
Tipo 1		<p style="text-align: center;"><b>Sistema – 1</b></p> 
Tipo 2		<p style="text-align: center;"><b>Sistema – 2</b></p> 

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la **figura 3.12.**, se observa las dos cocinas a gas seleccionadas bajo criterios técnicos como también se muestra el esquema de sistema de combustión para cada cocina, con los que se trabajó para este proyecto.

### 3.3.2.1. Determinación de la presión barométrica de los lugares donde se desarrolló las evaluaciones.

Para determinar los indicadores de desempeño energético como ser: capacidad térmica y eficiencia térmica es necesario conocer el valor exacto de la presión barométrica en los puntos de evaluación de las cocinas domesticas a gas. Por tanto se aplicará la ecuación de distribución barométrica, la cual permite determinar la presión de la atmósfera conociendo algunos parámetros que se miden en campo, como ser: temperatura ambiente, altitud, gravedad y un valor constante del peso molecular del aire.

La temperatura ambiente de cada lugar de evaluación, se obtuvo por medición directa con ayuda de un termómetro digital, el cual tiene la capacidad de percibir variaciones de temperatura de manera lineal.

La altitud se determinó con ayuda de un GPS, el cual es un sistema que permite determinar en un punto de la tierra la posición de cualquier objeto, brindando datos de: altitud, latitud y longitud de un punto.

El peso molecular de un determinado gas, es característica de cada fluido. En nuestro caso fue necesario conocer el peso molecular del aire, el cual tiene un valor de 28.96 g/mol. Para corroborar el valor característico de bibliografía se determinó por medio del Analizador de gases el porcentaje volumétrico del  $O_2$  registrando el valor de 20.8 % en los diferentes lugares de evaluación de las cocinas a gas.

La gravedad usualmente se considera un valor constante de  $9.81 m/s^2$ ; pero debido a la topografía de nuestro país existe una leve variación de este valor, por tanto se optó por utilizar el software SIS, el cual es una herramienta que permite determinar el valor exacto de la gravedad conociendo la altitud y latitud de un punto en estudio.

**Tabla 3.13.** Gravedad de las ciudades donde se desarrolló las evaluaciones de cocinas a gas

Nro.	Ciudad	Lugar de prueba		
		Altitud (msnm)	latitud (°)	gravedad (m/s <sup>2</sup> )
1	Santa Cruz	412	17,5	9,780
2	Cochabamba	2574	17,2	9,776
3	La Paz	3710	16,4	9,773
4	El Alto	4065	16,5	9,772

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la **tabla 3.13.**, se muestra los distintos valores de gravedad que se determinaron con ayuda del programa SIS para cada lugar de evaluación de las cocinas domesticas a gas.

Ya conocidos los valores de altitud, temperatura del ambiente y gravedad, para los lugares donde se realizó el proceso de evaluación de cocinas a gas, se procedió en calcular la presión atmosférica, por medio de la *Ley de distribución barométrica*.

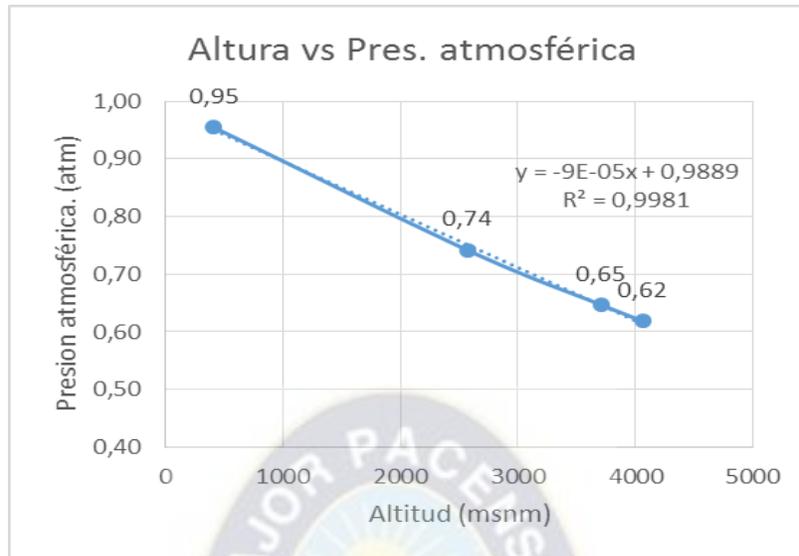
**Tabla 3.14.** Presión atmosférica de los lugares de evaluación para cocinas a gas

Ciudad	Temp. ambiente (K)	Altura (msnm)	Gravedad (m/s <sup>2</sup> )	M. aire (g/mol)	Pres. Atmosf. (atm)	Pres. $O_2$ (atm)
Santa Cruz	303	412	9,78	28,96	0,95	0.20
Cochabamba	293	2574	9,78	28,96	0,74	0.15
La Paz	290	3710	9,77	28,96	0,65	0.14
El Alto	288	4065	9,77	28,96	0,62	0.13

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la **tabla 3.14.**, se muestra los diferentes valores de presión atmosférica de cada lugar de evaluación, los cuales se obtuvieron por medio de la ecuación de distribución barométrica descrita en el punto **2.3.3.1.**

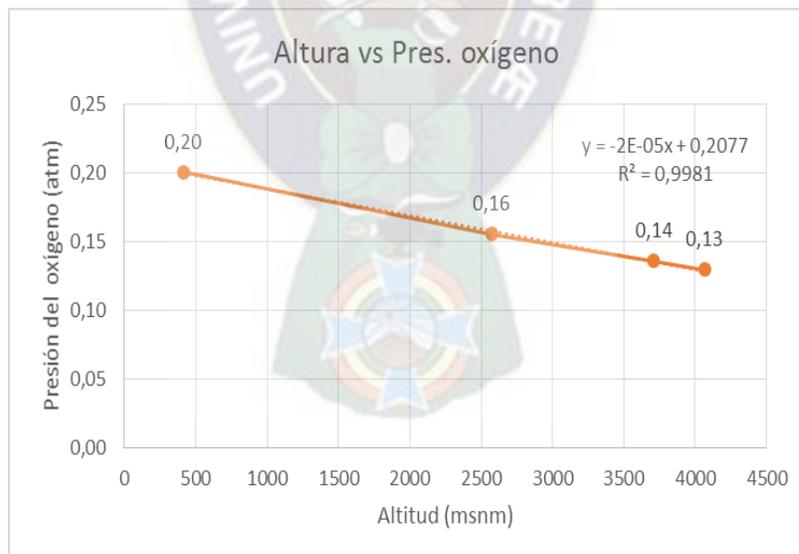
**Gráfico 3.13.** Variación de la Presión atmosférica respecto a la altitud de los lugares de evaluación



Fuente: Elaboración propia, 2019

El **grafico 3.13.**, muestra la línea de tendencia de variación en la presión atmosférica debida a la variación de altitud de las distintas ciudades de nuestro país. Donde se realizó las evaluaciones de cocinas domesticas a gas.

**Gráfico 3.14.** Variación de la presión de oxígeno respecto a la altitud en los lugares de evaluación



Fuente: Elaboración propia, 2019

El **grafico 3.14.**, muestra la línea de tendencia de variación en la presión del oxígeno debida a la variación de altitud de las distintas ciudades de nuestro país. Donde se realizó las evaluaciones de cocinas domesticas a gas.

### 3.3.2.2. Análisis de desempeño energético y emisiones de la Cocina tipo 1 empleando GN y GLP

#### 3.3.2.2.1. Análisis de Capacidad térmica de la Cocina doméstica tipo 1-GN

**Tabla 3.15.** Valores determinados de Capacidad térmica de la cocina doméstica Tipo 1-GN

Altitud (msnm)	412	2574	3710	4070
P1 ( $\frac{kJ}{h}$ )	5154,62	4989,66	4826,15	4770,43
P2 ( $\frac{kJ}{h}$ )	5086,2	4989,66	4864,3	4826,78
P3 ( $\frac{kJ}{h}$ )	5040,58	4969,62	4845,22	4845,56

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la **tabla 3.15.**, se muestra los valores determinados de capacidad térmica en ( $\frac{kJ}{h}$ ) que se obtuvieron en los distintos lugares de evaluación utilizando como combustible natural.

Para cada prueba de Capacidad térmica se realizó tres replicas garantizando de este modo la consistencia de datos.

**Tabla 3.16.** Medias de Capacidad térmica en ( $\frac{kJ}{h}$ ) con IC del 95 %-Cocina tipo 1-GN

Altitud (msnm)	Réplicas	Media	Desviación Estándar	IC de 95%
412	3	5093,8	57,4	(5045,2. 5142,4)
2574	3	4982,98	11,57	(4934,42. 5031,54)
3710	3	4845,2	19,1	(4796,7. 4893,8)
4070	3	4814,3	39,1	(4765,7. 4862,8)

Fuente: Elaboración propia, 2019

**Tabla 3.17.** Comparación de medias en ( $\frac{kJ}{h}$ ) por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-Cocina tipo 1-GN

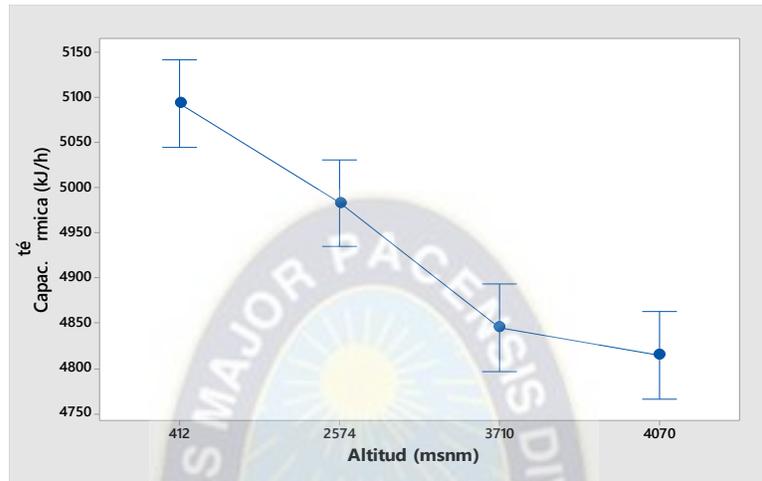
Ciudad	Altitud (msnm)	N	Media (kJ/h)	Agrupación		
Santa Cruz	412	3	5093,8	A		
Cochabamba	2574	3	4982,98		B	
La Paz	3710	3	4845,2			C
El Alto	4070	3	4814,3			C

Fuente: Elaboración propia, 2019

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Observando la **tabla 3.17.**, se concluye que existe diferencia significativa de medias de Capacidad térmica entre los departamentos de estudio, con excepción de La Paz y El Alto los cuales no presentan diferencia significativa de medias en la variable respuesta.

**Gráfico 3.15.** Gráfico de intervalos de medias de Capacidad térmica con un IC 95 % para la Cocina tipo 1-GN



Fuente: Elaboración propia, 2019

En el **grafico 3.15.**, se muestra las medias de Capacidad térmica en  $\left(\frac{kJ}{h}\right)$ , que se obtuvieron en los departamentos donde se realizó la evaluación de cocinas domesticas a gas. En la cual se puede observar que existe una variación en los valores obtenidos a diferentes altitudes. Este indicador es inversamente proporcional a la Capacidad térmica ya que en todas las pruebas se trabajó bajo las mismas condiciones.

### 3.3.2.2.2. Análisis de Capacidad térmica de Cocina doméstica tipo 1-GLP

**Tabla 3.18.** Valores determinados de Capacidad térmica de la cocina doméstica Tipo 1-GLP

Altitud (msnm)	412	2574	3710	4070
P1 $\left(\frac{kJ}{h}\right)$	6406,41	5997,32	5965,63	5907,32
P2 $\left(\frac{kJ}{h}\right)$	6406,41	6049,02	5916,32	6004,96
P3 $\left(\frac{kJ}{h}\right)$	6289,93	6152,42	5965,63	5907,32

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la **tabla 3.18.**, se muestra los valores determinados de capacidad térmica en  $\left(\frac{kJ}{h}\right)$  que se obtuvieron en los distintos lugares de evaluación utilizando como combustible gas licuado de petróleo.

Para cada prueba de Capacidad térmica se realizó tres replicas garantizando de este modo la consistencia de datos.

**Tabla 3.19.** Medias de Capacidad térmica ( $\frac{kJ}{h}$ ) con IC del 95 %-Cocina tipo 1-GLP

Altitud (msnm)	Réplicas	Media (kJ/h)	Desviación Estándar	IC de 95%
412	3	6367,6	67,2	(6286,7. 6448,4)
2574	3	6066,3	79,0	(5985,4. 6147,1)
3710	3	5949,2	28,5	(5868,4. 6030,0)
4070	3	5939,9	56,4	(5859,0. 6020,7)

Fuente: Elaboración propia, 2019

**Tabla 3.20.** Comparación de medias por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-GLP

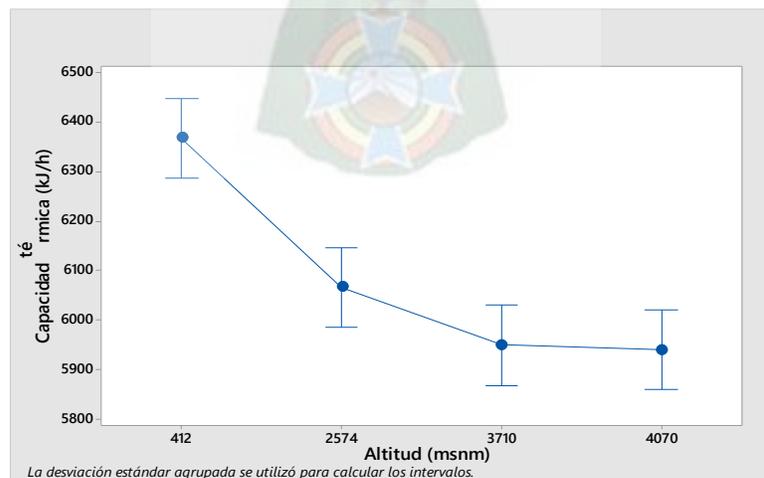
Altitud (msnm)	N	Media (kJ/h)	Agrupación	
412	3	6367,6	A	
2574	3	6066,3		B
3710	3	5949,2		B
4070	3	5939,9		B

Fuente: Elaboración propia, 2019

**Nota:** Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Observando la **tabla 3.20.**, se concluye que existe diferencia significativa de medias de Capacidad térmica entre el departamento de Santa Cruz con los demás departamentos de medias no significativas donde se realizó la evaluación de cocinas a gas.

**Gráfico 3.16.** Gráfico de intervalos de medias de Capacidad térmica con un IC 95 % para la Cocina tipo 1-GLP



Fuente: Elaboración propia, 2019

En el **grafico 3.16.**, se muestra las medias de Capacidad térmica en  $\left(\frac{kJ}{m^3}\right)$ , que se obtuvieron en los departamentos donde se realizó la evaluación de cocinas domesticas a gas empleando como combustible gas licuado de petróleo. En la cual se puede observar que existe una variación en los valores obtenidos a diferentes altitudes. Este indicador es inversamente proporcional a la Capacidad térmica ya que en todas las pruebas se trabajó bajo las mismas condiciones.

### 3.3.2.2.3. Análisis de Eficiencia térmica de Cocina doméstica tipo 1-GN

**Tabla 3.21.** Valores determinados de Eficiencia térmica de la cocina doméstica Tipo 1-GN

Altitud (msnm)	412	2574	3710	4070
P1 (%)	67,88	67,86	65	63,16
P2 (%)	68,21	66,47	64,42	63,01
P3 (%)	68,33	66,48	64,2	63,01

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la **tabla 3.21.**, se muestra los valores determinados de Eficiencia térmica que se obtuvieron en los distintos lugares de evaluación utilizando como combustible gas natural.

Para cada prueba de Eficiencia térmica se realizó tres replicas garantizando de este modo la consistencia de datos.

**Tabla 3.22.** Medias de Eficiencia térmica en % con un IC del 95 %-Cocina tipo 1-GN

Altitud (msnm)	Réplicas	Media (%)	Desviación estándar	IC de 95%
412	3	68,14	0,23	(67,51. 68,76)
2574	3	66,937	0,80	(66,31. 67,55)
3710	3	64,54	0,41	(63,91. 65,16)
4070	3	63,06	0,086	(62,43. 63,68)

Fuente: Elaboración propia, 2019

**Tabla 3.23.** Comparación de medias por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-GN

Altitud (msnm)	N	Media (%)	Agrupación		
412	3	68,14	A		
2574	3	66,937	A		
3710	3	64,54		B	
4070	3	63,06			C

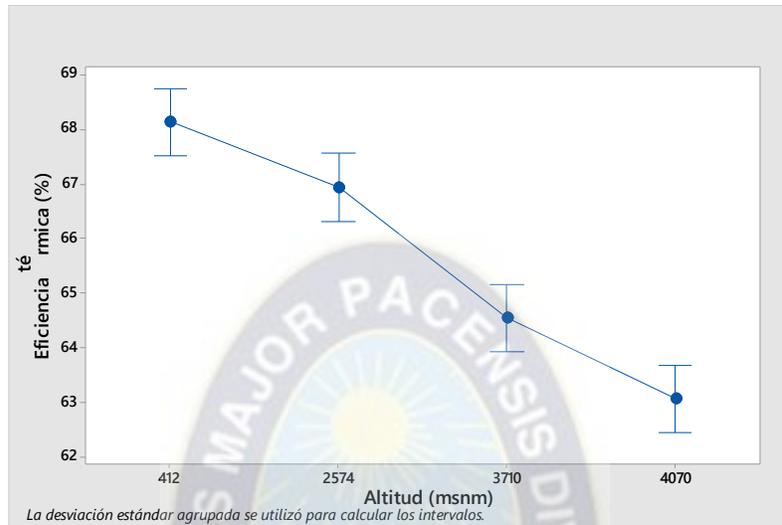
Fuente: Elaboración propia, 2019

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Observando la **tabla 3.23.**, se concluye que existe diferencia significativa de medias de Eficiencia térmica entre el departamento de Santa Cruz con Cochabamba, La Paz y El Alto; Cochabamba con El Alto y La

Paz; los departamentos de La Paz y El Alto comparten la misma letra lo que indica que no existe diferencia significativa de medias en estos lugares de evaluación.

**Gráfico 3.17.** Gráfico de intervalos de medias de Eficiencia térmica con un IC 95 % para la Cocina tipo 1-GN



Fuente: Elaboración propia, 2019

En el **gráfico 3.17.**, se muestra las medias de Eficiencia térmica en %, que se obtuvieron en los departamentos donde se realizó la evaluación de cocinas domesticas a gas empleando GN. En la cual se puede observar que existe una variación en los valores obtenidos a diferentes altitudes. Este indicador es inversamente proporcional a la Eficiencia térmica ya que en todas las pruebas se trabajó bajo las mismas condiciones.

#### 3.3.2.2.4. Análisis de Eficiencia térmica de Cocina doméstica tipo 1-GLP

**Tabla 3.24.** Valores determinados de Eficiencia térmica de la cocina doméstica Tipo 1-GLP

Altitud (msnm)	412	2574	3710	4070
P1 (%)	68,33	67,33	67,26	66,8
P2 (%)	68,92	68,47	67,06	67,38
P3 (%)	69,84	68,7	67,06	66,8

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la **tabla 3.24.**, se muestra los valores determinados de Eficiencia térmica que se obtuvieron en los distintos lugares de evaluación utilizando como combustible gas licuado de petróleo. Para cada prueba de Eficiencia térmica se realizó tres replicas garantizando de este modo la consistencia de datos.

**Tabla 3.25.** Medias de Eficiencia térmica en % con un IC del 95 %-Cocina tipo 1-GLP

Altitud (msnm)	Réplicas	Media (%)	Desviación estándar	IC de 95%
412	3	69,03	0,761	(68,28. 69,77)
2574	3	68,167	0,734	(67,42. 68,90)
3710	3	67,1267	0,1155	(66,38. 67,87)
4070	3	66,993	0,335	(66,25. 67,75)

Fuente: Elaboración propia, 2019

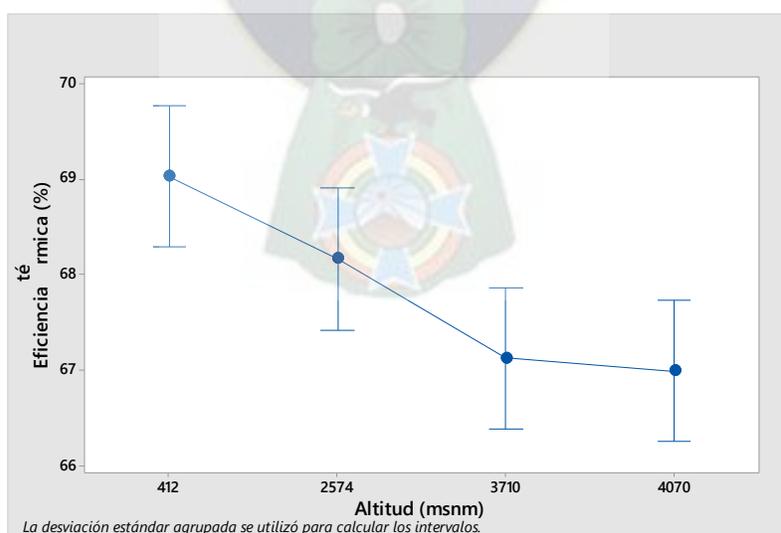
**Tabla 3.26.** Comparación de medias por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-GLP

Altitud (msnm)	N	Media (%)	Agrupación	
412	3	69,03	A	
2574	3	68,167	A	B
3710	3	67,1267		B
4070	3	66,993		B

Fuente: Elaboración propia, 2019

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Observando la **tabla 3.26.**, se concluye que existe diferencia significativa de medias de Eficiencia térmica entre el departamento de Santa Cruz con La Paz y El Alto; Cochabamba con El Alto y La Paz; los departamentos de La Paz y El Alto comparten la misma letra lo que indica que no existe diferencia significativa de medias en estos lugares de evaluación.

**Gráfico 3.18.** Gráfico de intervalos de medias de Eficiencia térmica con un IC 95 % para la Cocina tipo 1-GLP

Fuente: Elaboración propia, 2019

En el **grafico 3.18.**, se muestra las medias de Eficiencia térmica en (%), que se obtuvieron en los departamentos donde se realizó la evaluación de cocinas domesticas a gas empleando GLP. En la cual se puede observar que existe una variación en los valores obtenidos a diferentes altitudes. Este indicador

es inversamente proporcional a la Eficiencia térmica ya que en todas las pruebas se trabajó bajo las mismas condiciones.

### 3.3.2.2.5. Análisis de Combustión de Cocina doméstica tipo 1-GN

**Tabla 3.27.** Valores determinados de Combustión de la cocina doméstica Tipo 1-GN

Altitud (msnm)	412	2574	3710	4070
P1 ppm CO	0	29	42	56
P2 ppm CO	17,5	32	45	60
P3 ppm CO	12,5	29	54	63

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la **tabla 3.27.**, se muestra los valores determinados de Combustión que se obtuvieron en los distintos lugares de evaluación utilizando como combustible gas natural.

Para cada prueba de Combustión se realizó tres replicas garantizando de este modo la consistencia de datos.

**Tabla 3.28.** Medias de Combustión con IC del 95 %-Cocina tipo 1-GN

Altitud (msnm)	Réplicas	Media (ppm CO)	Desviación estándar	IC de 95%
412	3	10	9,01	(2,25. 17,75)
2574	3	30	1,73	(22,25. 37,75)
3710	3	47	6,24	(39,25. 54,75)
4070	3	59,67	3,51	(51,92. 67,42)

Fuente: Elaboración propia, 2019

**Tabla 3.29.** Comparación de medias de Combustión por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-Quemador estándar

Altitud (msnm)	N	Media (ppm CO)	Agrupación		
4070	3	59,67	A		
3710	3	47	A		
2574	3	30		B	
412	3	10			C

Fuente: Elaboración propia, 2019

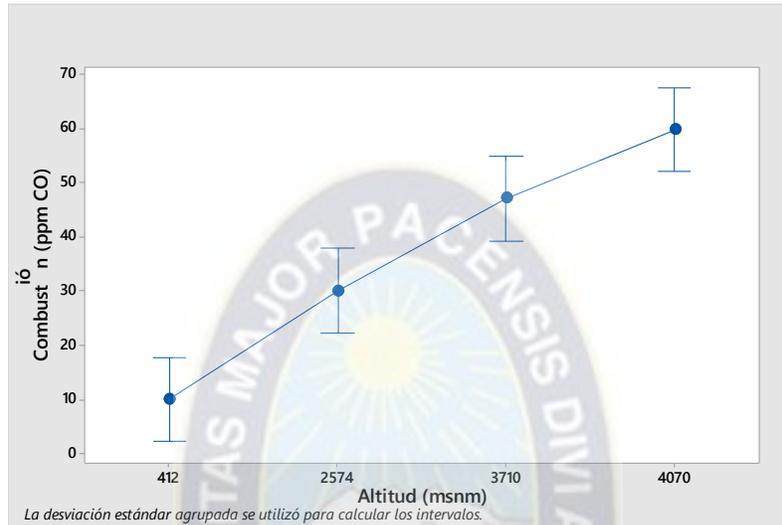
**Tabla 3.30.** Comparación de medias de Combustión por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-Quemador Súper

Altitud (msnm)	N	Media (ppm CO)	Agrupación		
4070	3	227,6	A		
3710	3	210,09	A		
2574	3	156,33		B	
412	3	77,33			C

Fuente: Elaboración propia, 2019

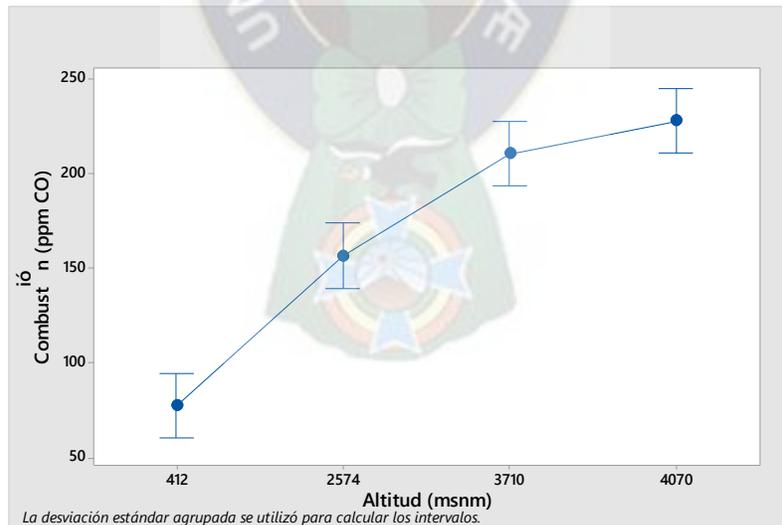
Observando la **tabla 3.29.** y **tabla 3.30.**, se concluye que existe diferencia significativa de medias de Combustión entre los departamentos de estudio, exceptuando El Alto y La Paz ya que comparten la misma letra es decir que no existe diferencia significativa de medias en estos lugares de evaluación.

**Gráfico 3.19.** Gráfico de intervalos de medias de Combustión con un IC de 95 % para la Cocina tipo 1-GN-QE



Fuente: Elaboración propia, 2019

**Gráfico 3.20.** Gráfico de intervalos de medias de Combustión con un IC 95 % para la Cocina tipo 1-GN-QS



Fuente: Elaboración propia, 2019

En el **grafico 3.19** y **grafico 3.20.**, se muestra las medias de Combustión, que se obtuvieron en los departamentos donde se realizó la evaluación de cocinas domesticas a gas empleando GN. De los quemadores estándar como quemadores súper. En la cual se puede observar que existe una variación en

los valores obtenidos a diferentes altitudes. Este indicador es proporcional a la Combustión ya que en todas las pruebas se trabajó bajo las mismas condiciones.

### 3.3.2.2.6. Análisis de Combustión de Cocina doméstica tipo 1-GLP

**Tabla 3.31.** Valores determinados de Combustión de la cocina doméstica Tipo 1-GLP

Altitud (msnm)	412	2574	3710	4070
P1 ppm CO	56	175	213	218
P2 ppm CO	50	148	190	185
P3 ppm CO	82	132	192	235

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la **tabla 3.31.**, se muestra los valores determinados de Combustión que se obtuvieron en los distintos lugares de evaluación utilizando como combustible gas licuado de petróleo.

Para cada prueba de Combustión se realizó tres replicas garantizando de este modo la consistencia de datos.

**Tabla 3.32.** Medias de Combustión con IC del 95 %-Cocina tipo 1-GLP

Altitud (msnm)	Réplicas	Media (ppm CO)	Desviación estándar	IC de 95%
412	3	62,67	17,01	(36,29. 89,05)
2574	3	151,7	21,7	(125,3. 178,0)
3710	3	198,33	12,74	(171,95. 224,71)
4070	3	212,7	25,4	(186,3. 239,0)

Fuente: Elaboración propia, 2019

**Tabla 3.33.** Comparación de medias de Combustión por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-Q. estándar-GLP

Altitud (msnm)	N	Media (ppm CO)	Agrupación		
4070	3	212,7	A		
3710	3	198,33	A	B	
2574	3	151,7		B	
412	3	62,67			C

Fuente: Elaboración propia, 2019

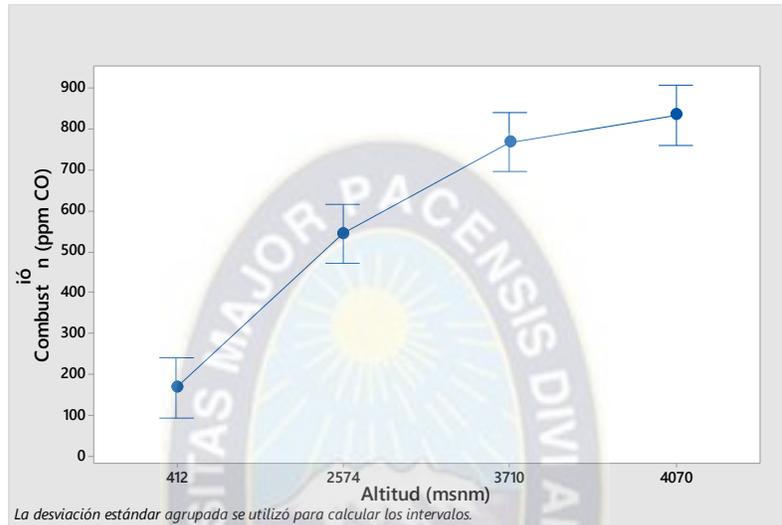
**Tabla 3.34.** Comparación de medias de Combustión por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-Q. Súper-GLP

Altitud (msnm)	N	Media (ppm CO)	Agrupación		
4070	3	833	A		
3710	3	767	A		
2574	3	543		B	
412	3	166,7			C

Fuente: Elaboración propia, 2019

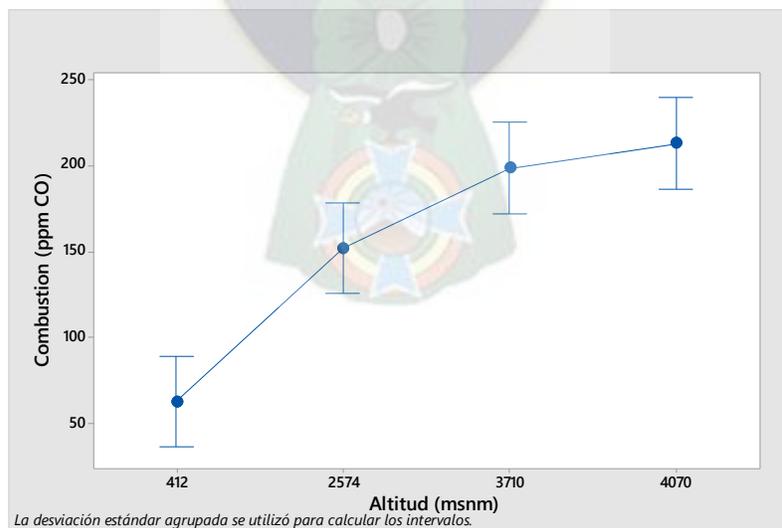
Observando la **tabla 3.33 y tabla 3.34.**, se concluye que existe diferencia significativa de medias de Combustión entre los departamentos de estudio, exceptuando El Alto y La Paz ya que comparten la misma letra es decir que no existe diferencia significativa de medias es estos lugares de evaluación.

**Gráfico 3.21.** Gráfico de intervalos de medias de Combustión con un IC 95 % para la Cocina tipo 1-GLP-QS



Fuente: Elaboración propia, 2019

**Gráfico 3.22.** Gráfico de intervalos de medias de Combustión con un IC 95 % para la Cocina tipo 1-GLP-QE



Fuente: Elaboración propia, 2019

En el **gráfico 3.21 y gráfico 3.22.**, se muestra las medias de Combustión, que se obtuvieron en los departamentos donde se realizó la evaluación de cocinas domesticas a gas empleando GLP. De los quemadores estándar como quemadores súper. En la cual se puede observar que existe una variación en

los valores obtenidos a diferentes altitudes. Este indicador es proporcional a la Combustión expresado en ppm de CO, ya que en todas las pruebas se trabajó bajo las mismas condiciones.

### 3.3.2.3. Análisis de desempeño energético y emisiones de la Cocina tipo 2 empleando GN y GLP

#### 3.3.2.3.1. Análisis de Capacidad térmica de la Cocina doméstica tipo 2-GN

**Tabla 3.35.** Valores determinados de Capacidad térmica para la Cocina doméstica Tipo 2-GN

Altitud (msnm)	412	2574	3710	4070
P1 ( $\frac{kJ}{h}$ )	6469,62	6345,62	6127,89	6121,81
P2 ( $\frac{kJ}{h}$ )	6499,78	6265,46	6171,28	6142,79
P3 ( $\frac{kJ}{h}$ )	6454,54	6305,54	6158,58	6105,03

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la **tabla 3.35.**, se muestra los valores determinados de Capacidad térmica que se obtuvieron en los distintos lugares de evaluación utilizando como combustible gas natural.

Para cada prueba de Capacidad térmica se realizó tres replicas garantizando de este modo la consistencia de datos.

**Tabla 3.36.** Medias de Capacidad térmica con IC del 95 %-Cocina tipo 2-GN

Altitud (msnm)	Réplicas	Media (kJ/h)	Desv.Est.	IC de 95%
412	3	6474,6	23	(6438,2. 6511,1)
2574	3	6305,5	40,1	(6269,1. 6342,0)
3710	3	6152,6	22,3	(6116,2. 6189,0)
4070	3	6123,2	18,9	(6086,8. 6159,6)

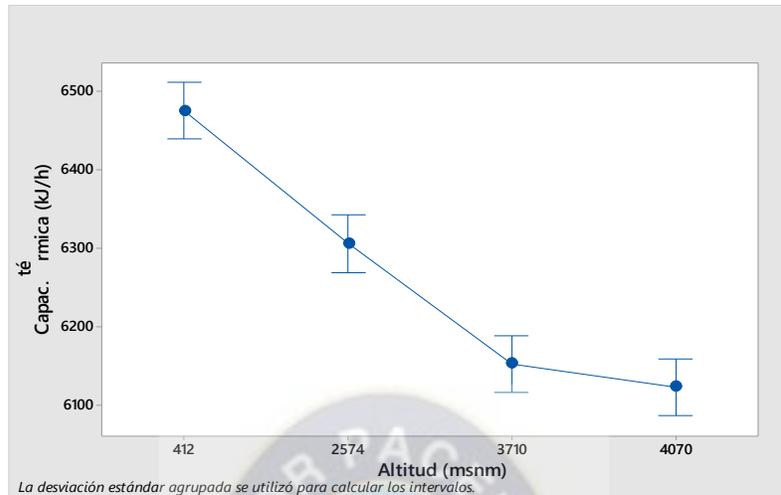
Fuente: Elaboración propia, 2019

**Tabla 3.37.** Comparación de medias de Capacidad térmica por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-GN

Altitud (msnm)	N	Media (kJ/h)	Agrupación		
412	3	6474,6	A		
2574	3	6305,5		B	
3710	3	6152,6			C
4070	3	6123,2			C

Fuente: Elaboración propia, 2019

Observando la **tabla 3.37.**, se concluye que existe diferencia significativa de medias de Combustión entre los departamentos de estudio, exceptuando El Alto y La Paz ya que comparten la misma letra es decir que no existe diferencia significativa de medias es estos lugares de evaluación.

**Gráfico 3.23.** Gráfico de intervalos de medias de Capacidad térmica con un IC 95 % para la Cocina tipo 2-GN

Fuente: Elaboración propia, 2019

En el **gráfico 3.23.**, se muestra las medias de Capacidad térmica, que se obtuvieron en los departamentos donde se realizó la evaluación de cocinas domesticas a gas empleando GN. En la cual se puede observar que existe una variación en los valores obtenidos a diferentes altitudes. Este indicador es inversamente proporcional a la Capacidad térmica ya que en todas las pruebas se trabajó bajo las mismas condiciones.

### 3.3.2.3.2. Análisis de Capacidad térmica de la Cocina doméstica tipo 2-GLP

**Tabla 3.38.** Valores determinados de Capacidad térmica para la Cocina doméstica Tipo 2-GLP

Altitud (msnm)	412	2574	3710	4070
P1 ( $\frac{kJ}{m^3}$ )	7648,86	7444,95	7296,8	7127,84
P2 ( $\frac{kJ}{m^3}$ )	7493,56	7307,08	7198,2	7144,11
P3 ( $\frac{kJ}{m^3}$ )	7687,69	7307,08	7094,11	7068,17

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la **tabla 3.38.**, se muestra los valores determinados de Capacidad térmica que se obtuvieron en los distintos lugares de evaluación utilizando como combustible gas licuado de Petróleo. Para cada prueba de Capacidad térmica se realizó tres replicas garantizando de este modo la consistencia de datos.

**Tabla 3.39.** Medias de Capacidad térmica con IC del 95 %-Cocina tipo 2-GLP

Altitud (msnm)	Réplicas	Media	Desv.Est.	IC de 95%
412	3	7610	102,7	(7497,1. 7722,9)
2574	3	7353	79,6	(7240,1. 7465,9)
3710	3	7196,4	101,4	(7083,5. 7309,3)
4070	3	7113,4	40	(7000,5. 7226,3)

Fuente: Elaboración propia, 2019

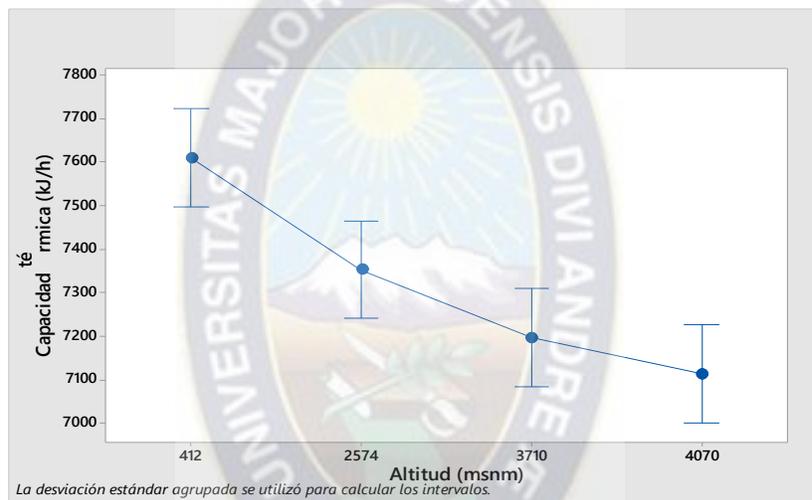
**Tabla 3.40.** Comparación de medias de Capacidad térmica por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-Q. estándar-GLP

Altitud (msnm)	N	Media	Agrupación		
412	3	7610	A		
2574	3	7353		B	
3710	3	7196,4		B	C
4070	3	7113,4			C

Fuente: Elaboración propia, 2019

Observando la **tabla 3.40.**, se concluye que existe diferencia significativa del departamento de Santa Cruz con los demás departamentos donde se realizó los estudios de evaluación.

**Gráfico 3.24.** Gráfico de intervalos de medias de Capacidad térmica con un IC 95 % para la Cocina tipo 2-GLP



Fuente: Elaboración propia, 2019

En el **gráfico 3.24.**, se muestra las medias de Capacidad térmica, que se obtuvieron en los departamentos donde se realizó la evaluación de cocinas domesticas a gas empleando GLP. En la cual se puede observar que existe una variación en los valores obtenidos a diferentes altitudes. Este indicador es inversamente proporcional a la Capacidad térmica, ya que en todas las pruebas se trabajó bajo las mismas condiciones.

### 3.3.2.3.3. Análisis de Eficiencia térmica de la Cocina doméstica tipo 2-GN

**Tabla 3.41.** Valores determinados de Eficiencia térmica para la Cocina doméstica Tipo 2-GN

Altitud msnm	412	2574	3710	4070
P1 (%)	64,4	63,09	62,59	62,22
P2 (%)	64,05	62,97	62,63	62,18
P3 (%)	64,24	63,43	62,5	62,25

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la **tabla 3.41.**, se muestra los valores determinados de Eficiencia térmica que se obtuvieron en los distintos lugares de evaluación utilizando como combustible gas natural. Para cada prueba de Eficiencia térmica se realizó tres replicas garantizando de este modo la consistencia de datos.

**Tabla 3.42.** Medias de Eficiencia térmica con IC del 95 %-Cocina tipo 2-GN

Altitud (msnm)	Réplicas	Media (%)	Desv.Est.	IC de 95%
412	3	64,23	0,175	(64,02. 64,43)
2574	3	63,163	0,239	(62,96. 63,37)
3710	3	62,5733	0,0666	(62,37. 62,77)
4070	3	62,2167	0,0351	(62,01. 62,42)

Fuente: Elaboración propia, 2019

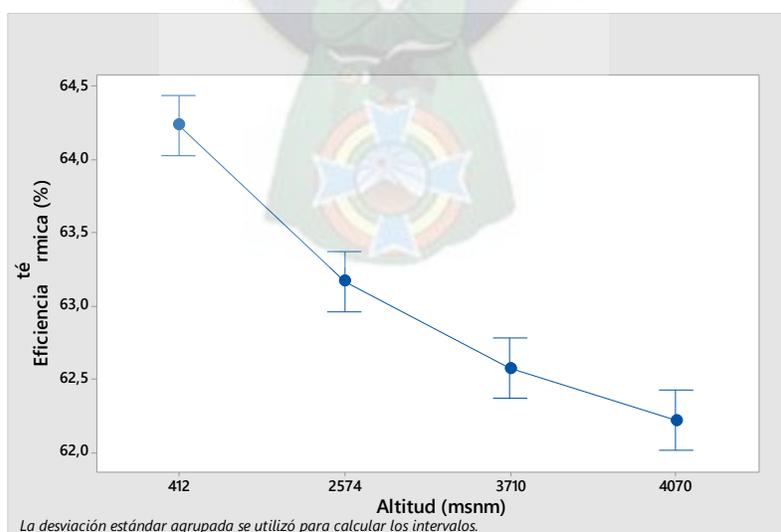
**Tabla 3.43.** Comparación de medias de Eficiencia térmica por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-GN

Altitud (msnm)	N	Media (%)	Agrupación		
412	3	64,23	A		
2574	3	63,163		B	
3710	3	62,5733			C
4070	3	62,2167			C

Fuente: Elaboración propia, 2019

Observando la **tabla 3.43.**, se concluye que existe diferencia significativa en todos los departamentos donde se realizó el estudio de evaluación, es decir el estudio realizado en la Ciudad de La Paz y El Alto en los cuales la diferencia no es significativa.

**Gráfico 3.25.** Gráfico de intervalos de medias de Eficiencia térmica con un IC 95 % para la Cocina tipo 2-GN



Fuente: Elaboración propia, 2019

En el **gráfico 3.25.**, se muestra las medias de Eficiencia térmica, que se obtuvieron en los departamentos donde se realizó la evaluación de cocinas domesticas a gas empleando GN. En la cual se puede observar que existe una variación en los valores obtenidos a diferentes altitudes. Este

indicador es inversamente proporcional a la Eficiencia térmica ya que en todas las pruebas se trabajó bajo las mismas condiciones.

### 3.3.2.3.4. Análisis de Eficiencia térmica de la Cocina doméstica tipo 2-GLP

**Tabla 3.44.** Valores determinados de Eficiencia térmica para la Cocina doméstica Tipo 2-GLP

Altitud (msnm)	412	2574	3710	4070
P1 (%)	65,24	64,8	64,16	63,94
P2 (%)	65,51	64,4	64,62	64,21
P3 (%)	65,78	64,89	63,89	63,59

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la **tabla 3.44.**, se muestra los valores determinados de Eficiencia térmica que se obtuvieron en los distintos lugares de evaluación utilizando como combustible gas licuado de petróleo evaluando la cocina doméstica tipo 2, En cada prueba se realizó tres replicas garantizando de este modo la consistencia de datos.

**Tabla 3.45.** Medias de Eficiencia térmica con IC del 95 %-Cocina tipo 2-GLP

Altitud (msnm)	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
412	3	65,51	0,27	(65,10. 65,92)
2574	3	64,697	0,261	(64,29. 65,10)
3710	3	64,223	0,369	(63,81. 64,63)
4070	3	63,913	0,311	(63,50. 64,32)

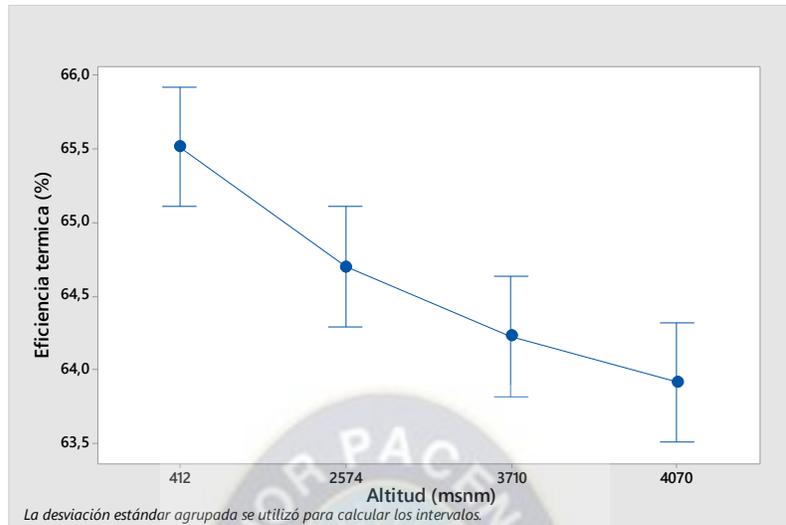
Fuente: Elaboración propia, 2019

**Tabla 3.46.** Comparación de medias de Eficiencia térmica por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-GLP

Altitud (msnm)	N	Media	Agrupación	
412	3	65,51	A	
2574	3	64,697		B
3710	3	64,223		B
4070	3	63,913		B

Fuente: Elaboración propia, 2019

Como se observa en la **tabla 3.46.**, no existe diferencia significativa en los valores medios de Eficiencia térmica en las ciudades de Cochabamba, La Paz y El Alto.

**Gráfico 3.26.** Gráfico de intervalos de medias de Eficiencia térmica con un IC 95 % para la Cocina tipo 2-GLP

Fuente: Elaboración propia, 2019

En el **gráfico 3.26.**, se muestra las medias de Eficiencia térmica, que se obtuvieron en los departamentos donde se realizó la evaluación de cocinas domesticas a gas empleando GLP. En la cual se puede observar que existe una variación en los valores obtenidos a diferentes altitudes. Este indicador es inversamente proporcional a la Eficiencia térmica ya que en todas las pruebas se trabajó bajo las mismas condiciones.

### 3.3.2.3.5. Análisis de Combustión de la Cocina doméstica tipo 2-GN

**Tabla 3.47.** Valores determinados de Combustión para la Cocina doméstica Tipo 2-GN-QE

Altitud (msnm)	412	2574	3710	4070
P1 (ppm CO)	37	67	141	161
P2 (ppm CO)	27	66	149	193
P3 (ppm CO)	32	62	147	181

Fuente: Elaboración propia, 2019

**Tabla 3.48.** Valores determinados de Combustión para la Cocina doméstica Tipo 2-GN-QS

Altitud (msnm)	412	2574	3710	4070
P1 (ppm CO)	136	225	519	597
P2 (ppm CO)	127	175	535	597
P3 (ppm CO)	178	198	567	577

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la **tabla 3.47.** y **3.48.**, se muestra los valores determinados de Combustión que se obtuvieron en los distintos lugares de evaluación utilizando como combustible gas natural evaluando la cocina domestica tipo 2, En cada prueba se realizó tres replicas garantizando de este modo la consistencia de datos. Se

muestran datos de las emisiones de CO en ppm de los tipos de quemadores estándar y súper ya que se observó que presentan distinto comportamiento y variación respecto a la altitud del lugar de estudio.

**Tabla 3.49.** Medias de Combustión con IC del 95 %-Cocina tipo 2-QE-GN

Altitud (msnm)	Replicas	Media (ppm CO)	Desv.Est.	IC de 95%
412	3	32	5	(20,27. 43,73)
2574	3	65	2,65	(53,27. 76,73)
3710	3	145,67	4,16	(133,93. 157,40)
4070	3	178,33	16,17	(166,60. 190,07)

Fuente: Elaboración propia, 2019

**Tabla 3.50.** Medias de Combustión con IC del 95 %-Cocina tipo 2-QS-GN

Altitud (msnm)	Replicas	Media (ppm CO)	Desv.Est.	IC de 95%
412	3	147	27,2	(116,5. 177,5)
2574	3	199,3	25	(168,8. 229,8)
3710	3	540,3	24,4	(509,8. 570,8)
4070	3	590,33	11,55	(559,84. 620,82)

Fuente: Elaboración propia, 2019

**Tabla 3.51.** Comparación de medias de Combustión por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-Q. estándar-GN

Altitud (msnm)	N	Media (ppm CO)	Agrupación			
4070	3	178,33	A			
3710	3	145,67		B		
2574	3	65			C	
412	3	32				D

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la **tabla 3.51.** observamos que existe diferencia significativa de las medias debido a que no comparten la misma letra el cual es nuestro indicador en el método de Tukey por tanto la influencia de emisiones empleando gas licuado de Petróleo para la cocina tipo 2 es considerable variando la altitud.

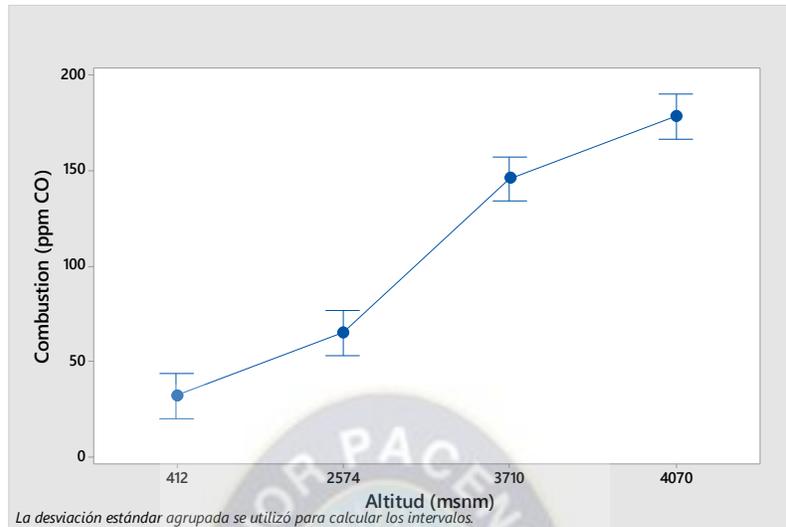
**Tabla 3.52.** Comparación de medias de Combustión por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-Q. súper-GN

Altitud (msnm)	N	Media	Agrupación	
4070	3	590,33	A	
3710	3	540,3	A	
2574	3	199,3		B
412	3	147		B

Fuente: Elaboración propia, 2019

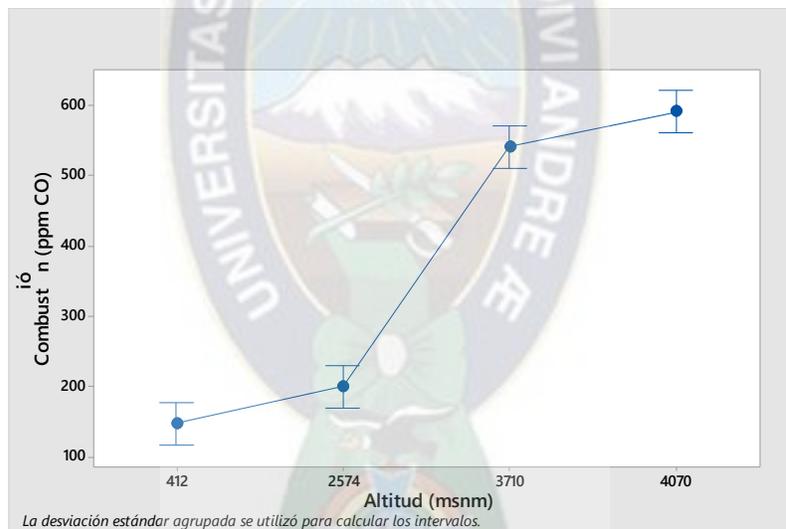
En la **tabla 3.52.**, se observa que en la Ciudad de El Alto y La Paz la diferencia de medias de Combustión no es significativa; como también la ciudad de Santa Cruz y Cochabamba no presentan una variación considerable en sus medias. Sin embargo existe una diferencia entre la región del altiplano con la región del oriente y valles interandinos

**Gráfico 3.27.** Gráfico de intervalos de medias de Combustión con un IC 95 % para la Cocina tipo 2-GN-QE



Fuente: Elaboración propia, 2019

**Gráfico 3.28.** Gráfico de intervalos de medias de Combustión con un IC 95 % para la Cocina tipo 2-GN-QS



Fuente: Elaboración propia, 2019

En el **gráfico 3.27. y 3.28.**, se muestra las medias de Combustión expresados en ppm de CO de las cocinas domesticas tipo 2 para el quemador estándar y súper, que se obtuvieron en los departamentos donde se realizó la evaluación de cocinas domesticas a gas empleando GN. En la cual se puede observar que existe una variación en los valores obtenidos a diferentes altitudes. Este indicador es proporcional a la Combustión ya que en todas las pruebas se trabajó bajo las mismas condiciones.

### 3.3.2.3.6. Análisis de Combustión de la Cocina doméstica tipo 2-GLP

**Tabla 3.53.** Valores determinados de Combustión para la Cocina doméstica Tipo 2-GLP-QE

Altitud (msnm)	412	2574	3710	4070
P1 ppm CO	64	477	556	575
P2 ppm CO	62	462	528	576
P3 ppm CO	76	455	539	612

Fuente: Elaboración propia, 2019

**Tabla 3.54.** Valores determinados de Combustión para la Cocina doméstica Tipo 2-GLP-QS

Altitud (msnm)	412	2574	3710	4070
P1 ppm CO	498	676	937	904
P2 ppm CO	467	823	884	1011
P3 ppm CO	420	854	899	1013

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la **tabla 3.53. y 3.54.**, se muestra los valores determinados de Combustión que se obtuvieron en los distintos lugares de evaluación utilizando como combustible gas licuado de petróleo evaluando la cocina domestica tipo 2, En cada prueba se realizó tres replicas garantizando de este modo la consistencia de datos. Se muestran datos de las emisiones de CO en ppm de los tipos de quemadores estándar y súper ya que se observó que presentan distinto comportamiento y variación respecto a la altitud del lugar de estudio.

**Tabla 3.55.** Medias de Combustión con IC del 95 %-Cocina tipo 2-QE-GLP

Altitud (msnm)	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
412	3	67,33	7,57	(48,19. 86,48)
2574	3	464,67	11,24	(445,52. 483,81)
3710	3	541	14,11	(521,86. 560,14)
4070	3	587,7	21,1	(568,50. 606,80)

Fuente: Elaboración propia, 2019

**Tabla 3.56.** Medias de Combustión con IC del 95 %-Cocina tipo 2-QS-GLP

Altitud (msnm)	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
412	3	461,7	39,3	(379,5. 543,8)
2574	3	784,3	95,1	(702,2. 866,5)
3710	3	906,7	27,3	(824,5. 988,8)
4070	3	976,0	62,4	(893,9. 1058,1)

Fuente: Elaboración propia, 2019

**Tabla 3.57.** Comparación de medias de Combustión por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-Cocina tipo 2-Q. estándar-GLP

Altitud (msnm)	N	Media (ppm CO)	Agrupación			
4070	3	587,70	A			
3710	3	541,00		B		
2574	3	464,67			C	
412	3	67,33				D

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la **tabla 3.57.** Observamos que existe diferencia significativa de las medias de Combustión debido a que no comparten la misma letra el cual es nuestro indicador en el método de Tukey; por tanto la influencia de la altitud en las de emisiones empleando gas licuado de Petróleo para la cocina tipo 2 es considerable.

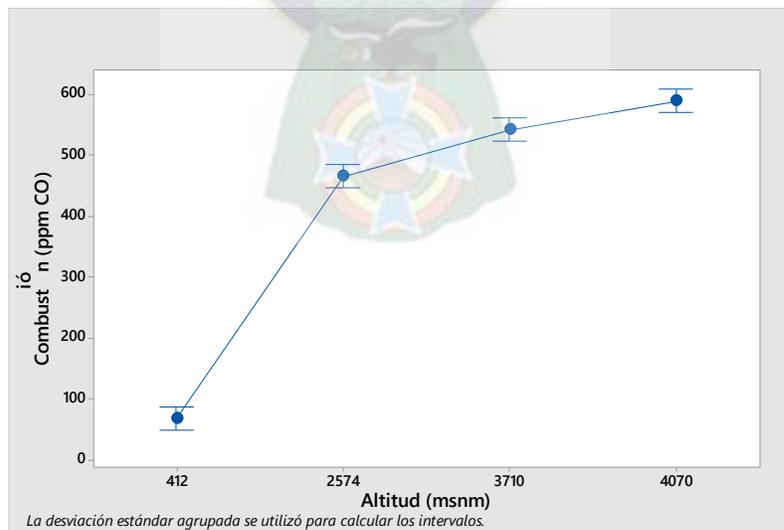
**Tabla 3.58.** Comparación de medias de Combustión por el método de Tukey con un nivel de confianza de 95%-Cocina tipo 2-Q. súper-GLP

Altitud (msnm)	N	Media (ppm CO)	Agrupación			
4070	3	976,0	A			
3710	3	906,7	A	B		
2574	3	784,3		B		
412	3	461,7				C

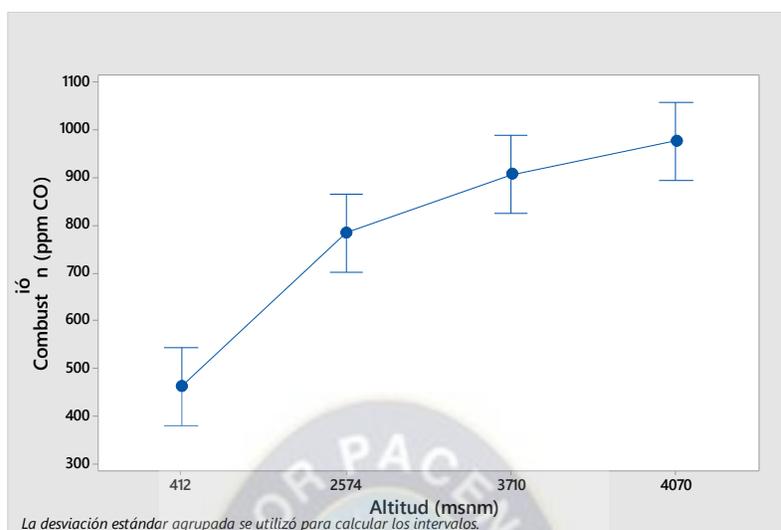
Fuente: Elaboración propia, 2019

Como se observa en la **tabla 3.58.**, no existe una diferencia significativa en las ciudades de La Paz con El Alto; como también La Paz con Cochabamba; Sin embargo las emisiones de Santa Cruz presenta una diferencia significativa con los resultados de Combustión de las otras ciudades.

**Gráfico 3.29.** Gráfico de intervalos de medias de Combustión con un IC 95 % para la Cocina tipo 2-QE-GLP



Fuente: Elaboración propia, 2019

**Gráfico 3.30.** Gráfico de intervalos de medias de Combustión con un IC 95 % para la Cocina tipo 2-QS-GLP

Fuente: Elaboración propia, 2019

En el **gráfico 3.29. y 3.30.**, se muestra las medias de Combustión expresados en ppm de CO de las cocinas domesticas tipo 2 para el quemador estándar y súper, que se obtuvieron en los departamentos donde se realizó la evaluación de cocinas domesticas a gas empleando GLP. En la cual se puede observar que existe una variación en los valores obtenidos a diferentes altitudes. Este indicador es proporcional a la Combustión ya que en todas las pruebas se trabajó bajo las mismas condiciones.

#### 3.4. Comparar los resultados obtenidos de las evaluaciones de indicadores de desempeño energético y emisiones, con límites permisibles referenciales de Normativas Internacionales vigentes de Latinoamérica.

Para el presente propósito se revisó procedimientos de evaluación y valores límite de desempeño energético de normativas internacionales de Latinoamérica con el objeto de establecer y conocer las condiciones de referencia

Los valores que se detallan en la **tabla 3.59.** Son los valores que los indicadores debe cumplir un sistema de cocción – cocina, para que sea considerado un sistema normado.

**Tabla 3.59.** Valores de referencia de los indicadores según Normativas Internacionales vigentes

Indicador	Valor permisible N. México	Valor permisible N. Argentina	Valor permisible N. Chile
Capacidad térmica	+ - 10 % del Valor nominal	+ - 8 % del Valor nominal	+ - 10 % del Valor nominal
Eficiencia térmica	mayor al 45 %	mayor al 52 %	mayor al 45 %
Combustión	menor a 800 ppm CO	menor a 2000 ppm CO	menor a 1000 ppm CO

Fuente: Elaboración propia, 2019

### 3.4.1. Comparación de valores obtenidos con valores de norma base para Capacidad térmica empleando GN y GLP

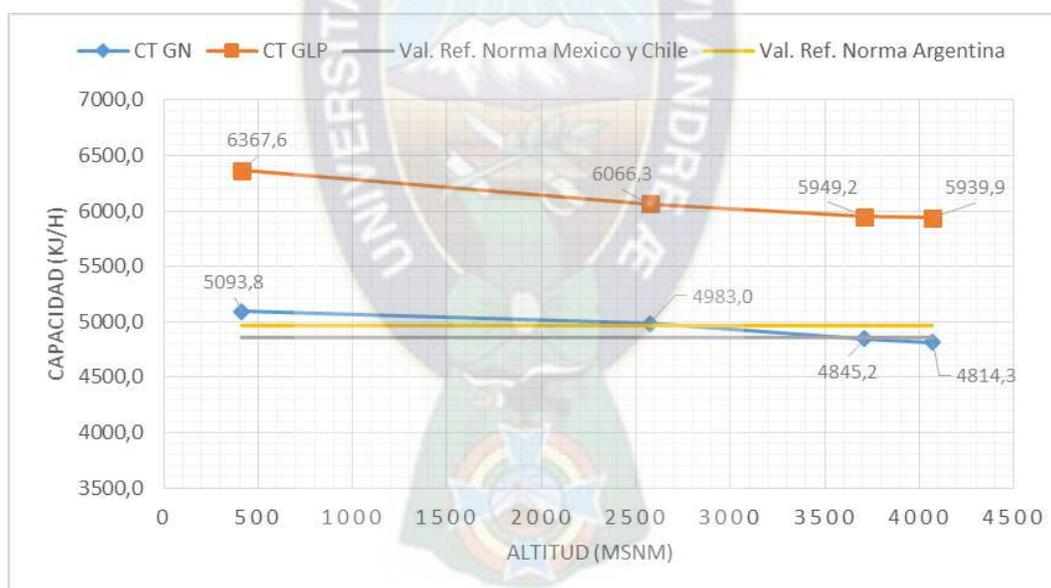
Se realizó la comparación de los valores obtenidos de Capacidad térmica con estándares establecidos en normativas vigentes para cada tipo de cocina empleando GN y GLP.

**Tabla 3.60.** Valores medios de Capacidad térmica-Cocina tipo 1-QE-GN y GLP

Altitud msnm	CT (kJ/h) GN	CT (kJ/h) GLP
412	5093,8	6367,6
2574	4982,98	6066,3
3710	4845,2	5949,2
4070	4814,3	5939,9

Fuente: Elaboración propia, 2019

**Gráfico 3.31.** Comportamiento de la Capacidad térmica para la cocina tipo 1 de GN y GLP



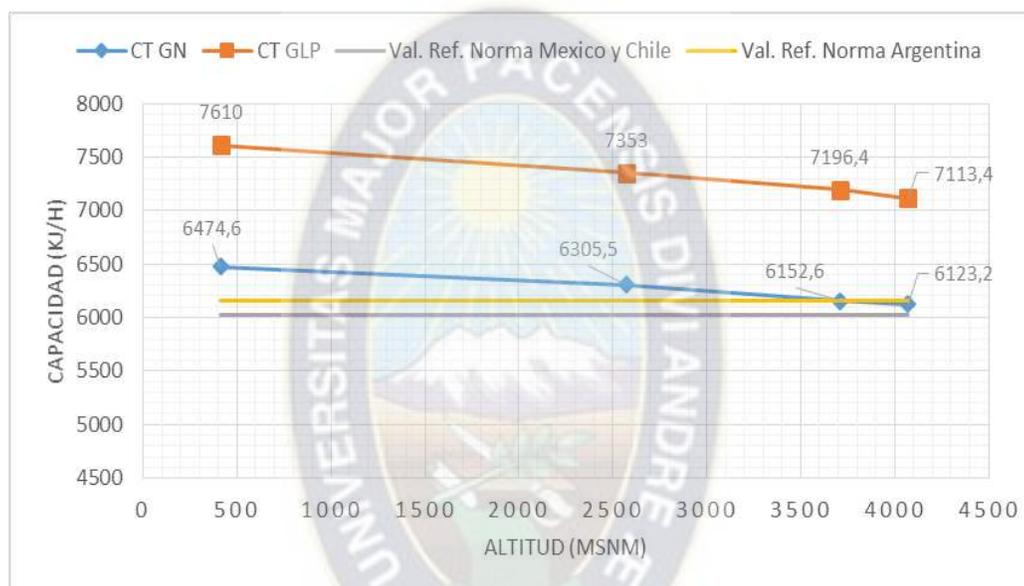
Fuente: Elaboración propia, 2019

El **gráfico 3.31.**, muestra el comportamiento del indicador Capacidad térmica de los quemadores estándar para la Cocina doméstica tipo 1 empleando gas natural y gas licuado de petróleo. Se observa que empleando como combustible el GLP, los valores obtenidos en los lugares de evaluación están por encima de los valores referenciales de la cocina cumpliendo así lo establecido en las normativas. Sin embargo empleando GN los valores obtenidos en la Ciudad de La Paz y El Alto, no superan los valores referenciales de las normas empleadas, debido a que el GN tiene menor poder calorífico y la disminución de la cantidad de oxígeno para la combustión.

**Tabla 3.61.** Valores medios de Capacidad térmica-Cocina tipo 2-QE-GN y GLP

Altitud msnm	CT (kJ/h) GN	CT (kJ/h) GLP
412	6474,6	7610
2574	6305,5	7353
3710	6152,6	7196,4
4070	6123,2	7113,4

Fuente: Elaboración propia, 2019

**Gráfico 3.32.** Comportamiento de la Capacidad térmica para la cocina tipo 2 de GN y GLP

Fuente: Elaboración propia, 2019

El **gráfico 3.32.**, muestra el comportamiento del indicador Capacidad térmica de los quemadores estándar para la Cocina doméstica tipo 2 empleando gas natural y gas licuado de petróleo. Se observa que utilizando GLP los valores obtenidos en los diferentes lugares de evaluación son mayores a los valores de referencia de la cocina cumpliendo así lo establecido en las normativas. Sin embargo empleando GN los valores obtenidos en la Ciudad de La Paz y El Alto, no superan los valores referenciales debido al poder calorífico que presenta este combustible y la variación de oxígeno de las ciudades de estudio.

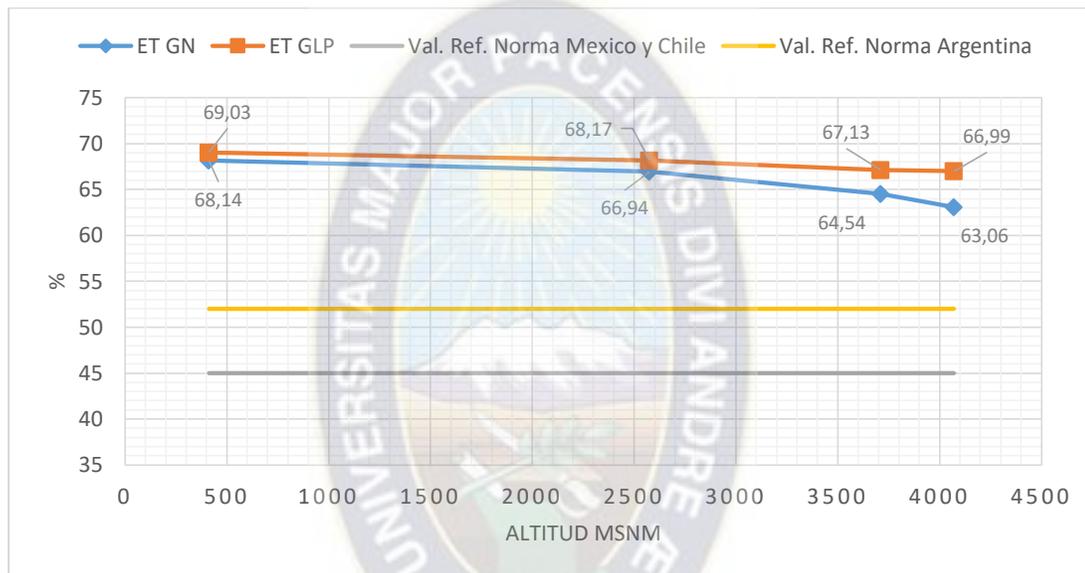
### 3.4.2. Comparación de valores obtenidos con valores de norma base para Eficiencia térmica empleando GN y GLP

Se realizó la comparación con los valores obtenidos de Eficiencia térmica con estándares establecidos en normativas vigentes para cada tipo de cocina empleando GN y GLP.

**Tabla 3.62.** Valores medios de Eficiencia térmica-Cocina tipo 1-QE-GN y GLP

Altitud msnm	ET (%) GN	ET (%) GLP
412	68,14	69,03
2574	66,94	68,17
3710	64,54	67,13
4070	63,06	66,99

Fuente: Elaboración propia, 2019

**Gráfico 3.33.** Comportamiento de la Eficiencia térmica para la cocina tipo 1 de GN y GLP

Fuente: Elaboración propia, 2019

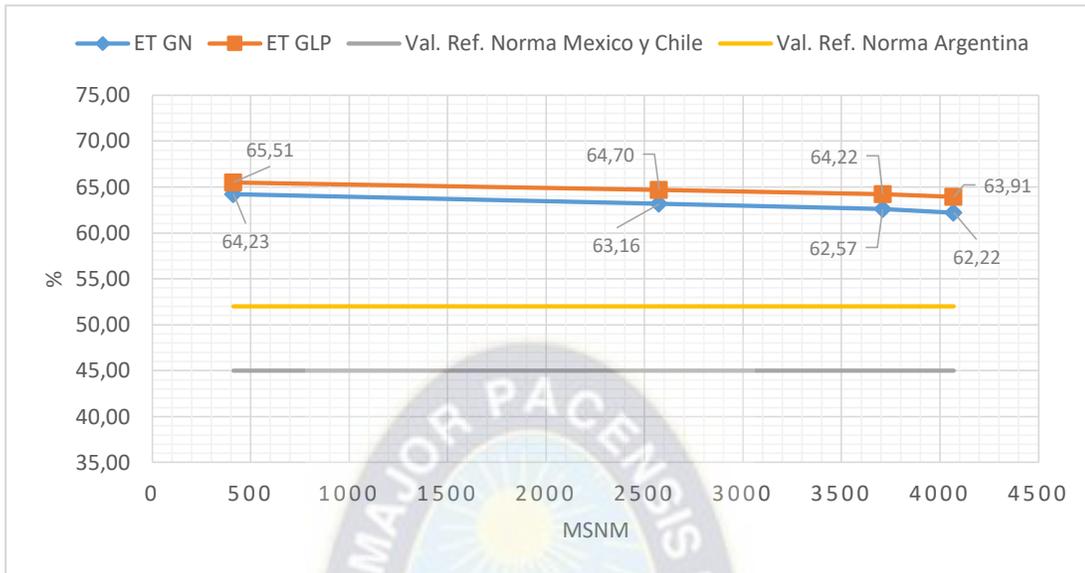
El **gráfico 3.33.**, muestra el comportamiento del indicador Eficiencia térmica de los quemadores para la Cocina doméstica tipo 1 empleando gas natural y gas licuado de petróleo. Se observa que utilizando ambos combustibles se obtiene un valor mayor a 45 % de la norma de México, Chile y mayor a 52 % de la Norma Argentina cumpliendo lo indicado. Al mismo tiempo se puede ver la disminución de Eficiencia térmica debido al incremento de la altitud. También se observa que el comportamiento de eficiencia térmica con GN presenta una variación más significativa.

**Tabla 3.63.** Valores medios de Eficiencia térmica-Cocina tipo 2-QE-GN y GLP

Altitud msnm	ET (%) GN	ET (%) GLP
412	64,23	65,51
2574	63,16	64,70
3710	62,57	64,22
4070	62,22	63,91

Fuente: Elaboración propia, 2019

**Gráfico 3.34.** Comportamiento de la Eficiencia térmica para la cocina tipo 2 de GN y GLP



Fuente: Elaboración propia, 2019

El **gráfico 3.34.**, muestra el comportamiento del indicador Eficiencia térmica de los quemadores estándar para la Cocina doméstica tipo 2 empleando gas natural y gas licuado de petróleo. Se observa que utilizando ambos combustibles se obtiene un valor mayor a 45 % y mayor a 52 % cumpliendo los valores establecidos en normativas internacionales vigentes. Al mismo tiempo se puede ver la variación de Eficiencia térmica debido a la diferencia de altura la cual no es significativa.

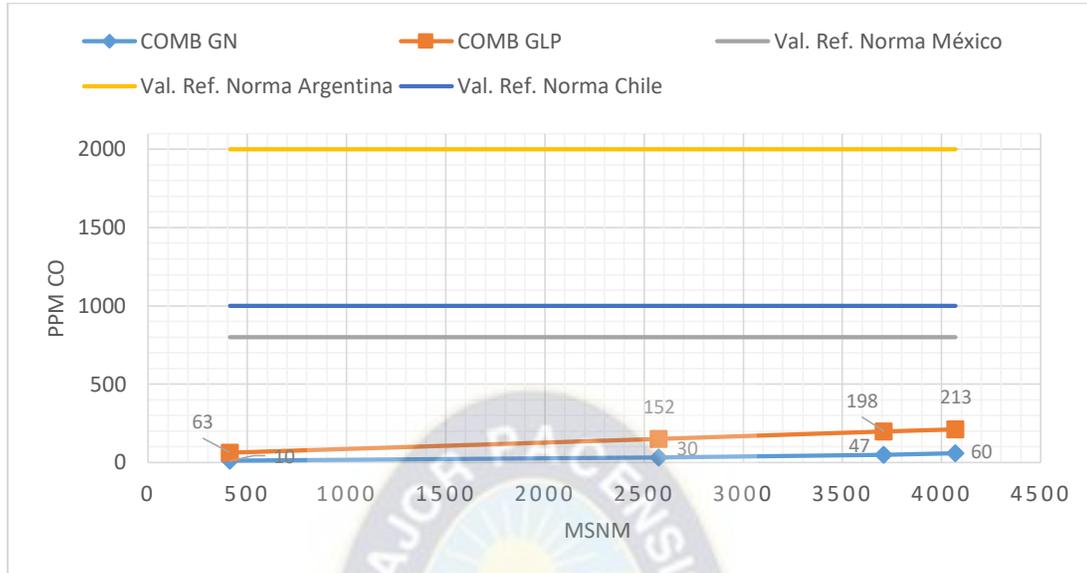
**3.4.3. Comparación de valores obtenidos con valores de norma base para Combustión empleando GN y GLP**

Se realizó la comparación con los valores obtenidos de Combustión con estándares establecidos en normativas vigentes para cada tipo de cocina empleando GN y GLP.

**Tabla 3.64.** Valores medios de Combustión-Cocina tipo 1-Q.Estandar-GN y GLP

Altitud msnm	ppm de CO para GN	ppm de CO para GLP
412	10	63
2574	30	152
3710	47	198
4070	60	213

Fuente: Elaboración propia, 2019

**Gráfico 3.35.** Comportamiento de la Combustión para la cocina tipo 1 Q. Estándar de GN y GLP

Fuente: Elaboración propia, 2019

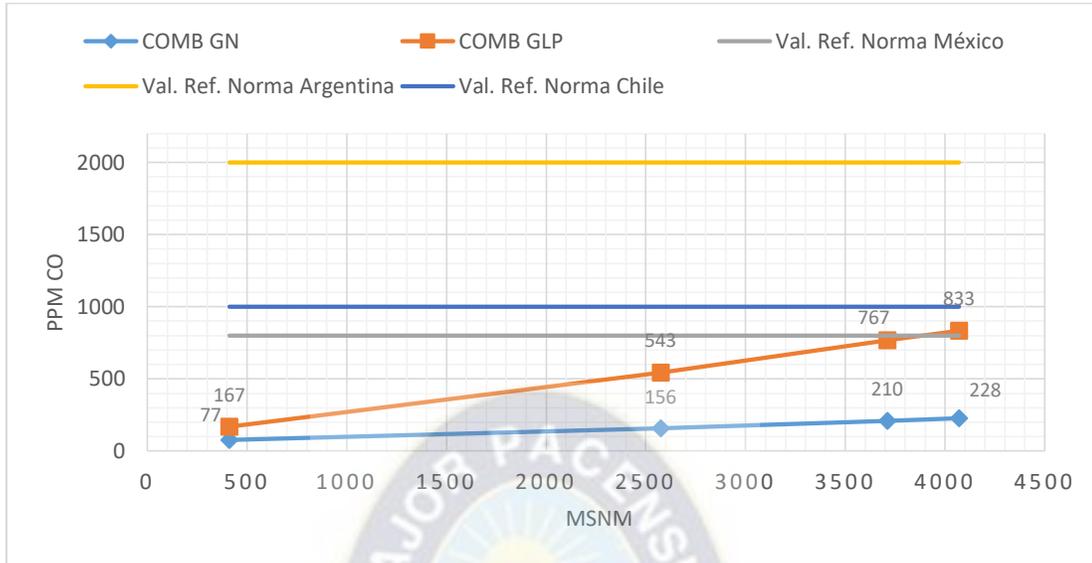
El **grafico 3.35.**, muestra el comportamiento de la combustión de la Cocina tipo 1 para los quemadores estándar empleando GN y GLP. Se puede observar que los valores obtenidos en los sitios de evaluación no sobrepasan los límites permisibles de las normativas empeladas cumpliendo lo establecido. Al mismo tiempo se observa que las emisiones de CO son proporcionales en forma lineal a la altitud.

**Tabla 3.65.** Valores medios de Combustión-Cocina tipo 1-Q. Súper-GN y GLP

Altitud msnm	ppm de CO para GN	ppm de CO para GLP
412	77	167
2574	156	543
3710	210	767
4070	228	833

Fuente: Elaboración propia, 2019

**Gráfico 3.36.** Comportamiento de la Combustión para la cocina tipo 1 Q. Súper de GN y GLP



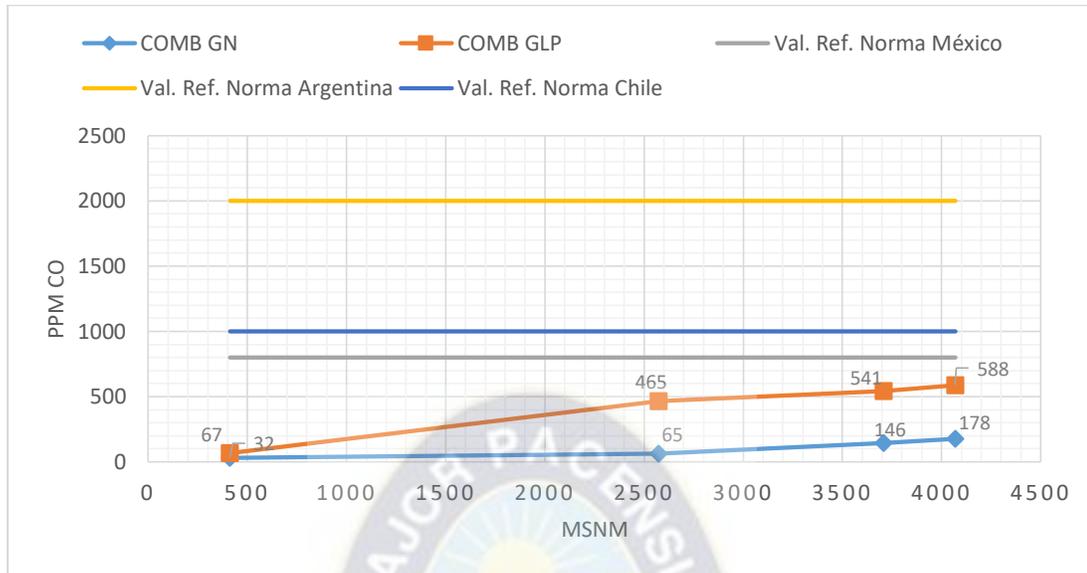
Fuente: Elaboración propia, 2019

El **gráfico 3.36.**, muestra el comportamiento de la combustión de la Cocina tipo 1 para los quemadores Súper empleando GN y GLP. Se puede observar que los valores obtenidos en los sitios de evaluación empleando GN no sobrepasan el límites permisibles ppm de CO. Sin embargo al mismo tiempo observamos que utilizando como combustible GLP las emisiones van incrementando en función de la altitud mediante un comportamiento lineal de mayor pendiente que la del GN, cumplen los valores establecidos de la norma de Chile y Argentina de 1000 y 2000 ppm de CO, pero en las ciudades de La Paz y El Alto sobrepasan los 800 ppm de CO valor referencial de la norma de México.

**Tabla 3.66.** Valores medios de Combustión-Cocina tipo 2-Q. Estándar -GN y GLP

Altitud msnm	ppm de CO para GN	ppm de CO para GLP
412	32	67
2574	65	465
3710	145,67	541
4070	178,33	588

Fuente: Elaboración propia, 2019

**Gráfico 3.37. Comportamiento de la Combustión para la cocina tipo 2 Q. Estándar de GN y GLP**

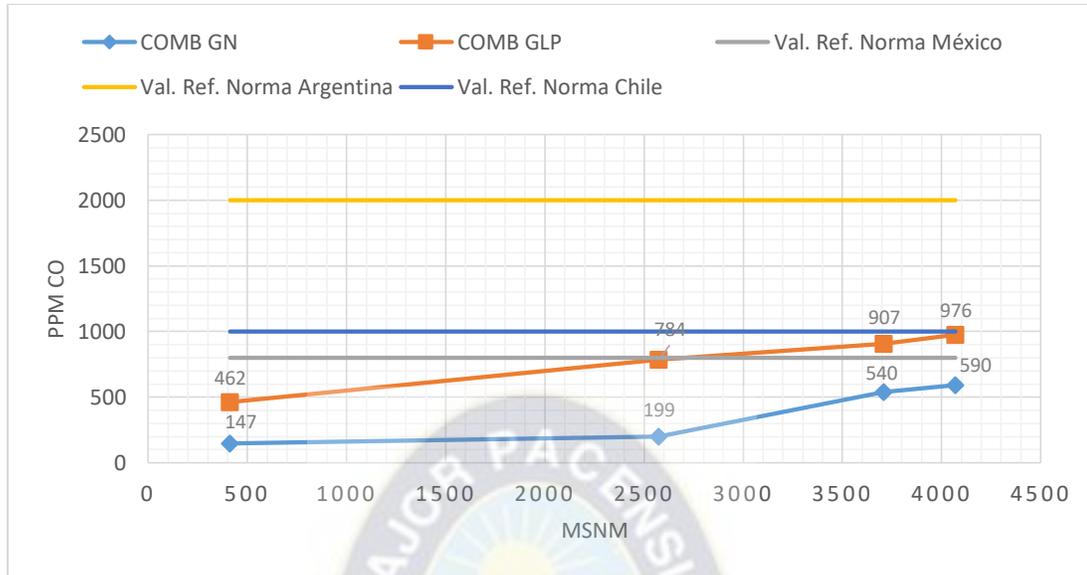
Fuente: Elaboración propia, 2019

El **gráfico 3.37.**, muestra el comportamiento de la combustión de la Cocina tipo 2 para los quemadores estándar. Se puede observar que los valores obtenidos en los sitios de evaluación empleando GN y GLP no sobrepasan el límite permisible de las normativas por tanto para este tipo de quemadores no debe realizarse una adecuación para nuestras condiciones climáticas.

**Tabla 3.67. Valores medios de Combustión-Cocina tipo 2-Q. Súper -GN y GLP**

Altitud msnm	ppm de CO para GN	ppm de CO para GLP
412	147	462
2574	199	784
3710	540	907
4070	590	976

Fuente: Elaboración propia, 2019

**Gráfico 3.38.** Comportamiento de la Combustión para la cocina tipo 2 Q. Súper de GN y GLP

Fuente: Elaboración propia, 2019

El **gráfico 3.38.**, muestra el comportamiento de la combustión de la Cocina tipo 2 para los quemadores súper empleando GN y GLP. Se puede observar que los valores obtenidos en los sitios de evaluación empleando GN no sobrepasan los límites permisibles de todas las normas; pero van incrementándose con una línea de tendencia definida. Sin embargo empleando GLP como combustible se observa que las evaluaciones desarrolladas en La Paz y El Alto sobrepasan los límites definidos en Norma de México de 800 ppm, el mismo que se produce por la falta de oxígeno en el proceso de combustión.

#### 3.4.4. Estudio de optimización de la cocina tipo 2-Q estándar

Se realizó el análisis y estudio de optimización para el quemador súper de la cocina tipo 2 (Inyector cerca del regulador del quemador), con objeto de mejorar el proceso de combustión del quemador en el lugar de estudio más alto (Ciudad de El Alto-4070 msnm) como se observa en el **gráfico 3.38**, y así llegar a cumplir con los valores límites de combustión de normativas internacionales de referencia.

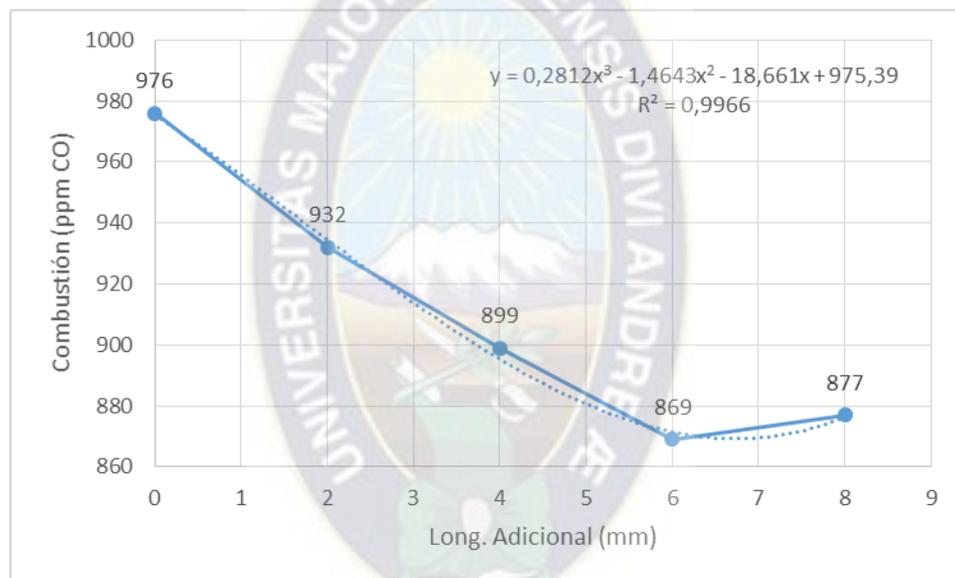
Para el mismo se analizó que el factor de mayor relevancia es la cantidad de aire suministrado para la combustión; debido a que la cantidad de oxígeno es menor debido a las condiciones atmosféricas; por tanto se realizó un análisis y ajuste a la cantidad de aire de entrada, incrementando la longitud de entrada de aire primario en el sistema de combustión del quemador de estudio.

Los valores medios de combustión obtenidos en la Ciudad de El Alto (4070 msnm) variando la longitud de entrada del aire primario para el quemador súper son:

**Tabla 3.68.** Valores medios de combustión en la Ciudad de El Alto variando la longitud de entrada de aire primario

Long. Adicional (mm)	Combustión media (ppm de CO)
0	976
2	932
4	899
<b>6</b>	<b>869</b>
8	877

Fuente: Elaboración propia, 2019

**Gráfico 3.39.** Variación de la combustión de quemador súper en función de la cantidad de aire primario suministrado

Fuente: Elaboración propia, 2019

En el **grafico 3.39**, se observa como los valores de combustión van disminuyendo al incrementar la longitud de entrada de aire primario obteniendo el valor de 869 ppm CO como punto más bajo al emplear una incremento de longitud de entrada de aire primario en 6 mm, cumpliendo de esta forma los valores establecidos en normativas de referencia; exceptuando la norma de México que establece un valor límite de 800 ppm de CO.

## CAPITULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

- Se identificó y describió procedimientos establecidos de normas internacionales vigentes asociados a la evaluación de cocinas domésticas a gas las cuales presentan métricas de evaluación de los indicadores de desempeño energético y emisiones para un artefacto doméstico de cocción, empleando GN y GLP. Al mismo tiempo se definió los lugares en diferentes regiones de nuestro país donde se desarrollaron las pruebas de cocinas a gas, que por facilidades logísticas y de acceso a información son Santa Cruz, Cochabamba, La Paz y El Alto.
- La metodología planteada para el estudio experimental permite indicar que el factor “altitud” presenta un mayor efecto en la combustión y que el factor “tipo de cocina” presenta mayor efecto en la capacidad y eficiencia energética. Al mismo tiempo se determinó los modelos de respuesta para cada tipo de cocina y para los quemadores estándar y súper.
- Se pudo determinar que el diámetro interno de una manguera de gas, influye de forma estadísticamente significativa en los indicadores de estudio para ambos tipos de cocinas; por tanto para las pruebas realizadas se trabajó con un diámetro interno de 9.5 mm ya que el valor es aceptable comparando con valores definidos en normas de Brasil y Colombia de instalaciones de gas doméstico (10 mm con tolerancia de 8 %).
- Se determinó la variación de cantidad de oxígeno producto de la altitud de los diferentes lugares de estudio, aplicando la ley de la distribución barométrica con los datos obtenidos en campo.
- Se identificó la variación significativa entre sitios (El Alto, La Paz, Cochabamba y Santa Cruz), de los indicadores de desempeño siendo el más representativo el indicador “combustión”, ya que presenta una variación significativa comparando entre cada lugar de evaluación.
- Se determinaron los valores más estrictos para los indicadores de desempeño energético de la evaluación de cocinas domésticas a gas de las diferentes normativas identificadas. Los cuales son:
  - En la capacidad térmica se toma el valor de la Norma Argentina, es decir que la prueba de evaluación se cumple cuando los quemadores estándar y súper presentan un error porcentual de 8 % respecto a la capacidad nominal. Ya que ambas cocinas cumplieron esta métrica de evaluación empleando gas natural o gas licuado de petróleo.
  - En la eficiencia térmica, se observa que los resultados para ambos aparatos domésticos en los lugares de evaluación, presentan un efecto no significativo ya que entre el punto más alto y bajo la variación máxima es de un 2 % donde cada cocina dio una eficiencia mayor al 60 %; por tanto se considerara el valor más alto establecido en las normas identificadas, esta es la Norma Argentina la cual indica que la prueba se cumple cuando la eficiencia térmica es mínimamente el 52%, para quemadores de la sección superior empleando GN o GLP.

- Para la prueba de combustión se observa que, basándonos en la norma Chilena se cumple con los requisitos de referencia, es decir que los sistemas cumplieron con las especificaciones de la norma en la cantidad producida de monóxido de carbono producto de la combustión.

Por lo tanto, la prueba se cumple cuando la cantidad producida de monóxido de carbono es menor a los 1000 ppm. Para ambos gases.

- Los datos obtenidos de los indicadores de desempeño energético, serán de aporte como datos referenciales para realizar una norma base y así estandarizar el mercado nacional de cocinas domésticas a gas.
- Al realizar la comparación de los resultados de los indicadores de desempeño de ambos tipos de cocina con valores establecidos en normativas, se pudo observar que la cocina tipo 1 (la cual presenta la esprea debajo del quemador) es más óptima en cada uno de los indicadores de estudio cumpliendo los límites permisibles de normativas internacionales.
- Con el propósito de mejorar los valores de emisiones del quemador súper de la cocina tipo 2 se realizó un estudio de optimización variando la longitud de entrada de aire, donde se obtuvo un comportamiento y tendencia de la longitud de entrada de aire primario con la combustión expresada en una ecuación polinómica de grado 3, al mismo tiempo se observó que la longitud optima adicional es de 6 mm en el cual el valor de combustión disminuye en aproximadamente 100 ppm de CO respecto a la longitud de entrada original.

#### **4.2. Recomendaciones**

- Se recomienda realizar un análisis de optimización para la combustión del quemador súper de la cocina tipo 2 (Inyector cerca al regulador del quemador), modificando el sistema de combustión con objeto de cumplir los límites permisibles de emisiones de CO establecidas en normativas de referencia.
- Se considera ampliar el estudio en hornos de las cocinas domésticas en diferentes condiciones climáticas del país con la finalidad de contar con mayor información, así de esta manera generalizar el estudio a nivel nacional.
- En base al presente trabajo, se recomienda que los datos obtenidos sean de aporte en la elaboración de una norma boliviana para cocinas domesticas a gas en cuanto a la definición de los indicadores de desempeño, valores referenciales y características de operación.
- Se recomienda la difusión de los resultados a la ANH conjuntamente convenio actual en vigencia.

## 5. BIBLIOGRAFIA

1. **Arrieta A., Ospina C. 2001.** Análisis comparativo de eficiencia en cocción con gas natural y electricidad. Ecuador : s.n.,2001
2. **Baukal C. 2003.** Industrial Burners Handbook, Nueva York, CRC Press LLC, 2003.
3. **Brizuela E. et al., Romanno S. D. 2003.** Combustión. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica y Naval: s.n., 2003.
4. **Carranza Y. 2012.** Estudio sobre la influencia de la potencia calorífica del quemador y el tipo de recipiente en la eficiencia de cocción a nivel residencial. s.n.,2012
5. **Cansino L., Restrepo A., 2007.** Análisis numérico de la combustión en un quemador atmosférico tipo corona de aplicación doméstica: s.n., 2007.
6. **Castro Miguel, 2011.** Hacia una matriz energética diversificada en Ecuador, CEDA. Quito: s.n., 2011.
7. **CEDLA. 2010.** Hacia una política de industrialización del gas natural en Bolivia. La Paz- Bolivia: s.n., 2010.
8. **Centro de Datos para la Conservación (CDC-Bolivia).1988.** Diagnóstico de la Diversidad Biológica de Bolivia: s.n., 1988.
9. **Centro de Pruebas de Cocinas. 2016.** Centro de Pruebas de Cocinas-CPC. La Paz: s.n., 2016.
10. **CEPAL. 2008.** Situación y perspectivas del gas natural licuado en América Latina: s.n., 2008.
11. **Chávez A. 2005.** Conversión industrial al consumo de gas natural en una planta textil. Lima-Perú: Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Nacional de Ingeniería: s.n., 2005.
12. **Definición ABC. (2 de Septiembre de 2016).** Definición ABC. Obtenido de Definición ABC: <http://www.definicionabc.com/medio-ambiente/biomasa.php>, 2016.
13. **Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (UNDESA). 2012.** Cambio Climático, Agua y Energía en Bolivia: s.n., 2012
14. **DESA-Naciones Unidas. 2013.** Cambio Climático, Agua y Energía en Bolivia: s.n., 2013.
15. **División de Energía Sector de Infraestructura y Energía. 2017.** Dossier Energético: Bolivia. 2017
16. **Ecuador, Instituto Ecuatoriano de Normalización. 2000.** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 259: 2000. Ecuador: s.n., 2000
17. **Figuerola R., Patiño L. 2004.** Modelado Térmico y Fluido dinámico de Gasoductos en Ingeniería Química: s.n., 2004.
18. **Fulkerson W., Judkins R. 1990.** Energía de los Combustibles Fósiles. Investigación y Ciencia: s.n., 1990.
19. **Gómez, Enrique. 2010.** Evaluación rápida del sector energía en Bolivia. La Paz: s.n., 2010.
20. **Hernández A. 2008.** Especificaciones Técnicas de "CONAIFSEDIGAS CERTIFICACION" para agente de puesta en marcha, mantenimiento, reparación y adecuación de aparatos. 2008.

21. **ISO 6327:1981. 2008.** Análisis de GAS. Determinación del Punto de Roció del Gas Natural. Higrómetros de condensación superficial.
22. **INE.2010.** Instituto Nacional de Estadística. 2010. La Paz: s.n., 2010.
23. **INN-CHILE. 2013.** Artefactos de uso doméstico para cocinar, que utilizan combustibles gaseosos: s.n., 2013.
24. **Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables.2015.** Congreso Internacional en sostenibilidad energética, 2015.
25. **Landete J- Enguinados M. 2009.** Guía de Instalaciones de Gas-Manual Técnico: s.n., 2009.
26. **Martínez I. 2000.** Termodinámica básica y aplicada en procesos de combustión: s.n., 2000.
27. **México. 2013.** Norma Oficial Mexicana NOM-010-SESH-2012. MEXICO: s.n., 2013.
28. **Ministerio de Hidrocarburos y Energía, MHE. 2016.** Cadena de Producción de Hidrocarburos. La Paz: s.n., 2016.
29. **NAG-312, NA.2010.** Norma Argentina NAG-312-2010. Argentina: s.n., 2010.
30. **Núñez D. 2015.** Estudio de parámetro de combustión en quemadores a gas de uso doméstico aplicando termografía y su incidencia en la eficiencia energética. Ambato- Ecuador. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Universidad Técnica de Ambato. 2015.
31. **Reyes P. 1999.** Combustibles Fósiles y Contaminación: s.n., 1999
32. **Reddy A., Goldemberg J. 1990.** Energía para el Mundo Subdesarrollado. Investigación y Ciencia: s.n. 1990.
33. **Rojas F., Jiménez O. 2016.** Análisis experimental del rendimiento térmico, potencia y emisiones de cocinas Anafe a Gas Licuado de Petróleo para altitudes entre 2200 y 4200 metros,2016
34. **Rojas F, Álvarez J., 2017.** Diseño y evaluación de mezcladores de un Quemador Domestico usando Gas Licuado de Petróleo: s.n., 2017.
35. **Riofrío A., et al., 2010.** Análisis del Consumo Energético en procesos de cocción eficiente para el sector Residencial. Quito, Ecuador: s.n., 2010
36. **Schniepp H., 1968.** Análisis de los combustibles fósiles: s.n., 1968.
37. **Sosa-Morales. 2013.** Mecanismos de transferencia de calor que ocurren en tratamientos térmicos de alimentos.
38. **Sudria C. 1984.** Atraso económico y resistencia a la innovación: el caso del gas natural en España. s.n., 1984.
39. **Tama A. 2013.** Cocina de Inducción versus Cocina a Gas Licuado de Petróleo. Ecuador: s.n., 2013.
40. **Vásquez L., Palacios J., etc. (2010).** Análisis de cambio de combustible en calderas a Gas Natural, 2010.
41. **Velasco C., et al. 2014.** Efectos de la altitud sobre la Combustión Oruro, Bolivia: Facultad Nacional de Ingeniería. Universidad Técnica de Oruro; s.n., 2014.

42. **Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos, YPFB.** Bolivia, corazón energético de la región.  
Bolivia: YPFB, 2017.
43. **YPFB. 2015.** Potencial hidrocarburífero de Bolivia, Energías de Bolivia. 2015
44. **YPFB. 2017.** La industria del petróleo y del gas: YPFB, 2017

**ANEXOS**

## ANEXO A

### DATOS MEDIDOS EN CAMPO DE LA EVALUACIÓN DE COCINAS A GAS

#### CAPACIDAD TÉRMICA

##### COCINA TIPO 1

##### CIUDAD DE SANTA CRUZ

Temperatura Ambiente (°C)	28.2
Humedad Relativa (%)	64.2
Marca de cocina	Realce
Sistema de combustión	Tipo 1
Gas de prueba	GN

##### Prueba 1

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	1	0,9	0,9	1
P. gas (KPa)	1,8	1,8	1,8	1,8
t. gas (°C)	28	28	28	28
L1 (m <sup>3</sup> )	15,4364	15,4647	15,4893	15,5155
L2 (m <sup>3</sup> )	15,4500	15,4759	15,5007	15,529
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1632	0,1344	0,1368	0,162

##### Prueba 2

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	1	0,9	0,9	1
P. gas (KPa)	1,8	1,8	1,8	1,8
t. gas (°C)	28	28	28	28
L1 (m <sup>3</sup> )	15,5454	15,5744	15,5989	15,625
L2 (m <sup>3</sup> )	15,559	15,5856	15,6100	15,6386
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1632	0,1344	0,1332	0,1632

##### Prueba 3

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	1	0,9	0,9	1
P. gas (KPa)	1,8	1,8	1,8	1,8
t. gas (°C)	28	28	28	28
L1 (m <sup>3</sup> )	15,6482	15,6747	15,6914	15,7226
L2 (m <sup>3</sup> )	15,6619	15,6856	15,7026	15,7362
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1644	0,1308	0,1344	0,1632

Temperatura Ambiente (°C)	28.2
Humedad Relativa (%)	64.2
Marca de cocina	Realce
Sistema de combustión	Tipo 1
Gas de prueba	GLP

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,65	0,65	0,7
P. gas (KPa)	4,5	4,5	4,5	4,5
t. gas (°C)	29	29	29	29
L1 (m <sup>3</sup> )	14,8492	14,8622	14,8728	14,8801
L2 (m <sup>3</sup> )	14,8556	14,8678	14,8782	14,8862
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0768	0,0672	0,0648	0,0732

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,65	0,65	0,7
P. gas (KPa)	4,5	4,5	4,5	1,5
t. gas (°C)	30	30	30	30
L1 (m <sup>3</sup> )	14,887	14,8994	14,9116	14,9242
L2 (m <sup>3</sup> )	14,8932	14,9051	14,9169	14,9304
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0744	0,0684	0,0636	0,0744

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,65	0,65	0,7
P. gas (KPa)	4,5	4,5	4,5	4,5
t. gas (°C)	30	30	30	30
L1 (m <sup>3</sup> )	14,938	14,9516	14,9638	14,9762
L2 (m <sup>3</sup> )	14,9444	14,957	14,9692	14,9824
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0768	0,0648	0,0648	0,0744

**CIUDAD DE COCHABAMBA**

Temperatura Ambiente (°C)	18
Humedad Relativa (%)	64.2
Marca de cocina	Realce
Sistema de combustión	Tipo 1
Gas de prueba	GN

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	1	0,9	0,9	1
P. gas (KPa)	1,8	1,8	1,8	1,8
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	13,7822	13,8152	13,843	13,8758
L2 (m <sup>3</sup> )	13,7971	13,8275	13,8556	13,8907
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1788	0,1476	0,1512	0,1788

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	1	0,9	0,9	1
P. gas (KPa)	1,8	1,8	1,8	1,8
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	13,9101	13,9432	13,9718	14,0004
L2 (m <sup>3</sup> )	13,9253	13,9557	13,9842	14,0154
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1824	0,15	0,1488	0,18

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	1	0,9	0,9	1
P. gas (KPa)	1,8	1,8	1,8	1,8
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	14,0355	14,0855	14,0998	14,1204
L2 (m <sup>3</sup> )	14,0507	14,0979	14,1122	14,1354
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1824	0,1488	0,1488	0,18

Temperatura Ambiente (°C)	17
Humedad Relativa (%)	61.4
Marca de cocina	Realce
Sistema de combustión	Tipo 1
Gas de prueba	GLP

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,65	0,65	0,7
P. gas (KPa)	3,8	3,85	3,8	3,8
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	12,7646	12,7784	12,7912	12,8049
L2 (m <sup>3</sup> )	12,7712	12,7843	12,7969	12,8115
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0792	0,0708	0,0684	0,0792

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,65	0,65	0,7
P. gas (KPa)	3,8	3,9	3,8	3,8
t. gas (°C)	20	20	20	19
L1 (m <sup>3</sup> )	12,8175	12,8392	12,8516	12,8642
L2 (m <sup>3</sup> )	12,8239	12,8451	12,8574	12,8707
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0768	0,0708	0,0696	0,078

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,65	0,65	0,7

P. gas (KPa)	3,8	3,9	3,8	3,8
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	12,8708	12,8778	12,8847	12,8939
L2 (m <sup>3</sup> )	12,8774	12,8838	12,8906	12,9004
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0792	0,072	0,0708	0,078

### CIUDAD DE LA PAZ

Temperatura Ambiente (°C)	17.5
Humedad Relativa (%)	76.8
Marca de cocina	Realce
Sistema de combustión	Tipo 1
Gas de prueba	GN

### Prueba 1

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	1	0,9	0,9	1
P. gas (KPa)	1,8	1,8	1,8	1,6
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	19,2042	19,2361	19,2631	19,2912
L2 (m <sup>3</sup> )	19,2198	19,2489	19,2756	19,3069
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1872	0,1536	0,15	0,1884

### Prueba 2

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	1	0,9	0,9	1
P. gas (KPa)	1,8	1,8	1,8	1,8
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	19,3243	19,3561	19,3831	19,4112
L2 (m <sup>3</sup> )	19,3401	19,3688	19,3959	19,4268
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1896	0,1524	0,1536	0,1872

### Prueba 3

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	1	0,9	0,9	1
P. gas (KPa)	1,8	1,8	1,8	1,8
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	19,4319	19,4515	19,4712	19,4924
L2 (m <sup>3</sup> )	19,4477	19,4642	19,4839	19,5079
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1896	0,1524	0,1524	0,186

Temperatura Ambiente (°C)	21
Humedad Relativa (%)	48.5
Marca de cocina	Realce
Sistema de combustión	Tipo 1
Gas de prueba	GLP

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,65	0,65	0,7
P. gas (KPa)	4,3	4,3	4,3	4,3
t. gas (°C)	21	21	21	21
L1 (m <sup>3</sup> )	20,3609	20,3756	20,3891	20,4031
L2 (m <sup>3</sup> )	20,3675	20,3816	20,3952	20,4097
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0792	0,072	0,0732	0,0792

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,65	0,65	0,7
P. gas (KPa)	4,3	4,3	4,3	4,3
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	20,4184	20,4329	20,4465	20,4604
L2 (m <sup>3</sup> )	20,4251	20,4389	20,4525	20,4671
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0804	0,072	0,072	0,0804

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,65	0,65	0,7
P. gas (KPa)	4,3	4,3	4,3	4,3
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	20,4712	20,4784	20,4906	20,5014
L2 (m <sup>3</sup> )	20,4778	20,4845	20,4966	20,5081
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0792	0,0732	0,072	0,0804

**CIUDAD DE EL ALTO**

Temperatura Ambiente (°C)	16.5
Humedad Relativa (%)	60.7
Marca de cocina	Realce
Sistema de combustión	Tipo 1
Gas de prueba	GN

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	1	0,9	0,9	1
P. gas (KPa)	1,75	1,75	1,75	1,75
t. gas (°C)	16	16	16	16
L1 (m <sup>3</sup> )	16,6372	16,6712	16,6999	16,7308
L2 (m <sup>3</sup> )	16,6533	16,6841	16,7127	16,7465
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1932	0,1548	0,1536	0,1884

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
----------	------	------	------	------

CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	1	0,9	0,9	1
P. gas (KPa)	1,75	1,75	1,75	1,75
t. gas (°C)	16	16	16	16
L1 (m <sup>3</sup> )	16,7669	16,8008	16,8658	16,8968
L2 (m <sup>3</sup> )	16,7828	16,8136	16,8788	16,9127
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1908	0,1536	0,156	0,1908

### Prueba 3

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	1	0,9	0,9	1
P. gas (KPa)	1,75	1,75	1,75	1,75
t. gas (°C)	16	16	16	16
L1 (m <sup>3</sup> )	16,9251	16,9495	16,9712	16,9905
L2 (m <sup>3</sup> )	16,9409	16,9622	16,9839	17,0063
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1896	0,1524	0,1524	0,1896

Temperatura Ambiente (°C)	17.3
Humedad Relativa (%)	61.4
Marca de cocina	Realce
Sistema de combustión	Tipo 1
Gas de prueba	GLP

### Prueba 1

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,65	0,65	0,7
P. gas (KPa)	4,3	4,3	4,3	4,3
t. gas (°C)	17	17	17	17
L1 (m <sup>3</sup> )	20,4762	20,4919	20,5062	20,5191
L2 (m <sup>3</sup> )	20,4828	20,498	20,5122	20,5259
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0792	0,0732	0,072	0,0816

### Prueba 2

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,65	0,65	0,7
P. gas (KPa)	4,3	4,3	4,3	4,3
t. gas (°C)	17	17	17	17
L1 (m <sup>3</sup> )	20,5318	20,5472	20,5612	20,5756
L2 (m <sup>3</sup> )	20,5385	20,5533	20,5674	20,5823
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0804	0,0732	0,0744	0,0804

### Prueba 3

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6477	5398	5398	6477
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,65	0,65	0,7
P. gas (KPa)	4,3	4,3	4,3	4,3

t. gas (°C)	17	17	17	17
L1 (m <sup>3</sup> )	20,5906	20,6027	20,6154	20,6307
L2 (m <sup>3</sup> )	20,5973	20,6087	20,6215	20,6373
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0804	0,072	0,0732	0,0792

## COCINA TIPO 2

### CIUDAD DE SANTA CRUZ

Temperatura Ambiente (°C)	33
Humedad Relativa (%)	40
Marca de cocina	Abba
Sistema de combustión	Tipo 2
Gas de prueba	GN

#### Prueba 1

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6696	7920	6696	6696
Diam. Esprea (mm)	1	1,1	1	1
P. gas (KPa)	1,8	1,8	1,8	1,8
t. gas (°C)	33	33	33	33
L1 (m <sup>3</sup> )	16,3817	16,4113	16,4376	16,469
L2 (m <sup>3</sup> )	16,3961	16,4282	16,4518	16,4833
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1728	0,2028	0,1704	0,1716

#### Prueba 2

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6696	7920	6696	6696
Diam. Esprea (mm)	1	1,1	1	1
P. gas (KPa)	1,8	1,8	1,8	1,8
t. gas (°C)	33	33	33	33
L1 (m <sup>3</sup> )	16,4994	16,5316	16,5674	16,5987
L2 (m <sup>3</sup> )	16,5136	16,5485	16,5818	16,6132
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1704	0,2028	0,1728	0,174

#### Prueba 3

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6696	7920	6696	6696
Diam. Esprea (mm)	1	1,1	1	1
P. gas (KPa)	1,8	1,8	1,8	1,8
t. gas (°C)	33	33	33	33
L1 (m <sup>3</sup> )	16,615	16,6308	16,6524	16,6702
L2 (m <sup>3</sup> )	16,6293	16,6479	16,6666	16,6845
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1716	0,2052	0,1704	0,1716

Temperatura Ambiente (°C)	33
Humedad Relativa (%)	41
Marca de cocina	Abba
Sistema de combustión	Tipo 2
Gas de prueba	GLP

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6700	7920	6700	6700
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,75	0,7	0,7
P. gas (KPa)	4,5	4,5	4,5	4,5
t. gas (°C)	32	32	32	32
L1 (m <sup>3</sup> )	15,1565	15,172	15,188	15,2022
L2 (m <sup>3</sup> )	15,1631	15,1795	15,1944	15,2089
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0792	0,09	0,0768	0,0804

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6700	7920	6700	6700
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,75	0,7	0,7
P. gas (KPa)	4,5	4,5	4,5	4,5
t. gas (°C)	32	32	32	32
L1 (m <sup>3</sup> )	15,2172	15,2322	15,2478	15,2615
L2 (m <sup>3</sup> )	15,2238	15,2395	15,2541	15,2679
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0792	0,0876	0,0756	0,0768

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6700	7920	6700	6700
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,75	0,7	0,7
P. gas (KPa)	4,5	4,5	4,5	4,5
t. gas (°C)	32	32	32	32
L1 (m <sup>3</sup> )	15,2704	15,2802	15,2905	15,3064
L2 (m <sup>3</sup> )	15,2768	15,2875	15,2972	15,3131
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0768	0,0876	0,0804	0,0804

**CIUDAD DE COCHABAMBA**

Temperatura Ambiente (°C)	18
Humedad Relativa (%)	61
Marca de cocina	Abba
Sistema de combustión	Tipo 2
Gas de prueba	GN

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6696	7920	6696	6696
Diam. Esprea (mm)	1	1,1	1	1
P. gas (KPa)	1,8	1,8	1,8	1,8
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	14,0463	14,0838	14,127	14,1642
L2 (m <sup>3</sup> )	14,0622	14,1027	14,1426	14,1802
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1908	0,2268	0,1872	0,192

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6696	7920	6696	6696
Diam. Esprea (mm)	1	1,1	1	1
P. gas (KPa)	1,8	1,8	1,8	1,8
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	14,2276	14,2644	14,3041	14,3396
L2 (m <sup>3</sup> )	14,2433	14,2832	14,3197	14,3552
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1884	0,2256	0,1872	0,1872

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6696	7920	6696	6696
Diam. Esprea (mm)	1	1,1	1	1
P. gas (KPa)	1,8	1,8	1,8	1,8
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	14,3419	14,3655	14,3925	14,4144
L2 (m <sup>3</sup> )	14,3576	14,3843	14,4082	14,4302
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1884	0,2256	0,1884	0,1896

Temperatura Ambiente (°C)	18
Humedad Relativa (%)	61
Marca de cocina	Abba
Sistema de combustión	Tipo 2
Gas de prueba	GLP

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6700	7920	6700	6700
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,75	0,7	0,7
P. gas (KPa)	4,4	4,4	4,4	4,4
t. gas (°C)	19	19	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	13,2236	13,2388	13,2552	13,2694
L2 (m <sup>3</sup> )	13,2308	13,2469	13,2623	13,2767
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0864	0,0972	0,0852	0,0876

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6700	7920	6700	6700
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,75	0,7	0,7
P. gas (KPa)	4,4	4,4	4,4	4,4
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	13,2841	13,2989	13,3144	13,329
L2 (m <sup>3</sup> )	13,2912	13,307	13,3214	13,3361
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0852	0,0972	0,084	0,0852

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6700	7920	6700	6700
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,75	0,7	0,7
P. gas (KPa)	4,4	4,4	4,4	4,4
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	13,3618	13,3692	13,3771	13,3842
L2 (m <sup>3</sup> )	13,3689	13,3773	13,3841	13,3913
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0852	0,0972	0,084	0,0852

**CIUDAD DE LA PAZ**

Temperatura Ambiente (°C)	17
Humedad Relativa (%)	68.8
Marca de cocina	Abba
Sistema de combustión	Tipo 2
Gas de prueba	GN

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6696	7920	6696	6696
Diam. Esprea (mm)	1	1,1	1	1
P. gas (KPa)	1,6	1,6	1,6	1,6
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	18,4128	18,4495	18,4909	18,5268
L2 (m <sup>3</sup> )	18,4287	18,4693	18,5069	18,5431
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1908	0,2376	0,192	0,1956

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6696	7920	6696	6696
Diam. Esprea (mm)	1	1,1	1	1
P. gas (KPa)	1,6	1,6	1,6	1,6
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	18,562	18,5993	18,6394	18,6735
L2 (m <sup>3</sup> )	18,5782	18,6186	18,6554	18,6899
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1944	0,2316	0,192	0,1968

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6696	7920	6696	6696
Diam. Esprea (mm)	1	1,1	1	1
P. gas (KPa)	1,6	1,6	1,6	1,6
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	18,6987	18,7261	18,7587	18,7822
L2 (m <sup>3</sup> )	18,7148	18,7454	18,7746	18,7987
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1932	0,2316	0,1908	0,198

Temperatura Ambiente (°C)	17
Humedad Relativa (%)	68.8
Marca de cocina	Abba
Sistema de combustión	Tipo 2
Gas de prueba	GLP

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6700	7920	6700	6700
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,75	0,7	0,7
P. gas (KPa)	4,4	4,4	4,4	4,4
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	19,9081	19,9252	19,9432	19,9594
L2 (m <sup>3</sup> )	19,9155	19,9336	19,9505	19,9669
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0888	0,1008	0,0876	0,09

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6700	7920	6700	6700
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,75	0,7	0,7
P. gas (KPa)	4,4	4,4	4,4	4,4
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	19,9753	19,9926	20,0105	20,0265
L2 (m <sup>3</sup> )	19,9826	20,001	20,0177	20,0339
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0876	0,1008	0,0864	0,0888

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6700	7920	6700	6700
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,75	0,7	0,7
P. gas (KPa)	4,4	4,4	4,4	4,4
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	20,0405	20,0612	20,0754	20,0945
L2 (m <sup>3</sup> )	20,0477	20,0696	20,0824	20,1018
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0864	0,1008	0,084	0,0876

**CIUDAD DE EL ALTO**

Temperatura Ambiente (°C)	14.7
Humedad Relativa (%)	69.7
Marca de cocina	Abba
Sistema de combustión	Tipo 2
Gas de prueba	GN

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6696	7920	6696	6696
Diam. Esprea (mm)	1	1,1	1	1

P. gas (KPa)	1,8	1,8	1,8	1,8
t. gas (°C)	16	16	16	16
L1 (m <sup>3</sup> )	17,475	17,5102	17,5516	17,5883
L2 (m <sup>3</sup> )	17,4911	17,5296	17,5678	17,6047
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1932	0,2328	0,1944	0,1968

### Prueba 2

Quegador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6696	7920	6696	6696
Diam. Esprea (mm)	1	1,1	1	1
P. gas (KPa)	1,8	1,8	1,8	1,8
t. gas (°C)	16	16	16	16
L1 (m <sup>3</sup> )	17,6224	17,6543	17,7412	17,7776
L2 (m <sup>3</sup> )	17,6385	17,6739	17,7572	17,7943
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1932	0,2352	0,192	0,2004

### Prueba 3

Quegador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6696	7920	6696	6696
Diam. Esprea (mm)	1	1,1	1	1
P. gas (KPa)	1,8	1,8	1,8	1,8
t. gas (°C)	16	16	16	16
L1 (m <sup>3</sup> )	17,8001	17,698	17,8611	17,8826
L2 (m <sup>3</sup> )	17,8163	17,7176	17,877	17,899
V (m <sup>3</sup> /h)	0,1944	0,2352	0,1908	0,1968

Temperatura Ambiente (°C)	14.7
Humedad Relativa (%)	69.7
Marca de cocina	Abba
Sistema de combustión	Tipo 2
Gas de prueba	GLP

### Prueba 1

Quegador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6700	7920	6700	6700
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,75	0,7	0,7
P. gas (KPa)	4,3	4,3	4,3	4,3
t. gas (°C)	17	17	17	17
L1 (m <sup>3</sup> )	21,0195	21,0374	21,0556	21,0718
L2 (m <sup>3</sup> )	21,0268	21,0458	21,0629	21,0791
V (m <sup>3</sup> /h)	0,0876	0,1008	0,0876	0,0876

### Prueba 2

Quegador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6700	7920	6700	6700
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,75	0,7	0,7
P. gas (KPa)	4,3	4,3	4,3	4,3
t. gas (°C)	17	17	17	17
L1 (m <sup>3</sup> )	21,0878	21,105	21,1231	21,1394

L2 ( $m^3$ )	21,0951	21,1135	21,1303	21,1471
V ( $m^3/h$ )	0,0876	0,102	0,0864	0,0924

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
CT nominal (kJ/h)	6700	7920	6700	6700
Diam. Esprea (mm)	0,7	0,75	0,7	0,7
P. gas (KPa)	4,3	4,3	4,3	4,3
t. gas ( $^{\circ}C$ )	17	17	17	17
L1 ( $m^3$ )	21,1523	21,1617	21,1724	21,1824
L2 ( $m^3$ )	21,1597	21,1701	21,1795	21,1897
V ( $m^3/h$ )	0,0888	0,1008	0,0852	0,0876

**EFICIENCIA TÉRMICA****COCINA TIPO 1****CIUDAD DE SANTA CRUZ**

Cocina	Realce
Sistema de combustión	Tipo 1
Gas de prueba	GN

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas ( $^{\circ}C$ )	30	30	30	30
L1 ( $m^3$ )	15,6608	15,7034	15,7451	15,7876
L2 ( $m^3$ )	15,6916	15,7341	15,7753	15,8179
DL ( $m^3$ )	0,0308	0,0307	0,0302	0,0303
T1 ( $^{\circ}C$ )	16,8	15,8	16,6	16,7
T2 ( $^{\circ}C$ )	86,8	85,8	86,6	86,7
DT ( $^{\circ}C$ )	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	21,37	24,32	23,32	21,03
Dt min	11,37	14,32	13,32	11,03

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas ( $^{\circ}C$ )	30	30	30	30
L1 ( $m^3$ )	15,8316	15,8732	15,9152	15,9593
L2 ( $m^3$ )	15,8621	15,9034	15,9456	15,9908
DL ( $m^3$ )	0,0305	0,0302	0,0304	0,0315
T1 ( $^{\circ}C$ )	16	15,8	15,8	15,5
T2 ( $^{\circ}C$ )	86	85,8	85,8	85,5
DT ( $^{\circ}C$ )	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	21,50	24,03	23,58	21,67
Dt min	11,50	14,03	13,58	11,67

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas ( $^{\circ}C$ )	30	30	30	30
L1 ( $m^3$ )	16,0119	16,0546	16,0942	16,1436

L2 (m <sup>3</sup> )	16,0429	16,0846	16,1247	16,1748
DL (m <sup>3</sup> )	0,031	0,03	0,0305	0,0312
T1 (°C)	15,9	16,3	15,7	16,2
T2 (°C)	85,9	86,3	85,7	86,2
DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	21,00	24,20	23,78	21,38
Dt min	11,00	14,20	13,78	11,38

Cocina	Realce
Sistema de combustión	Tipo 1
Gas de prueba	GLP

### Prueba 1

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas (°C)	30	30	30	30
L1 (m <sup>3</sup> )	14,9924	15,0119	15,0325	15,0536
L2 (m <sup>3</sup> )	15,0039	15,0233	15,0441	15,065
DL (m <sup>3</sup> )	0,0115	0,0114	0,0116	0,0114
T1 (°C)	16,2	16,5	16	17
T2 (°C)	86,2	86,5	86	87
DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	21,13	22,23	23,65	21,60
Dt min	11,13	12,23	13,65	11,60

### Prueba 2

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas (°C)	31	31	31	31
L1 (m <sup>3</sup> )	15,074	15,0956	15,1158	15,1356
L2 (m <sup>3</sup> )	15,0856	15,1071	15,1271	15,1472
DL (m <sup>3</sup> )	0,0116	0,0115	0,0113	0,0116
T1 (°C)	16,5	15,4	15,8	16
T2 (°C)	86,5	85,4	85,8	86
DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	22,02	23,40	22,57	21,57
Dt min	12,02	13,40	12,57	11,57

### Prueba 3

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas (°C)	31	31	31	31
L1 (m <sup>3</sup> )	15,1621	15,1827	15,2028	15,2249
L2 (m <sup>3</sup> )	15,1734	15,1939	15,2141	15,2363
DL (m <sup>3</sup> )	0,0113	0,0112	0,0113	0,0114
T1 (°C)	15,9	16	15,8	16,5
T2 (°C)	85,9	86	85,8	86,5
DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	21,58	23,13	22,70	21,60
Dt min	11,58	13,13	12,70	11,60

**CIUDAD DE COCHABAMBA**

Cocina	Realce
Sistema de combustión	Tipo 1
Combustible	GN

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	13,3596	13,4118	13,4626	13,5172
L2 (m <sup>3</sup> )	13,399	13,4499	13,501	13,5568
DL (m <sup>3</sup> )	0,0394	0,0381	0,0384	0,0396
T1 (°C)	15,6	15,5	15,6	16,3
T2 (°C)	85,6	85,5	85,6	86,3
DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	22,82	24,92	25,58	22,90
Dt min	12,82	14,92	15,58	12,90

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	13,5731	13,626	13,677	13,732
L2 (m <sup>3</sup> )	13,613	13,6649	13,7162	13,7717
DL (m <sup>3</sup> )	0,0399	0,0389	0,0392	0,0397
T1 (°C)	15,8	16,3	16,3	16
T2 (°C)	85,8	86,3	86,3	86
DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	22,83	25,05	25,90	23,13
Dt min	12,83	15,05	15,90	13,13

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	13,7931	13,8524	13,8995	13,9397
L2 (m <sup>3</sup> )	13,8325	13,8915	13,9384	13,9795
DL (m <sup>3</sup> )	0,0394	0,0391	0,0389	0,0398
T1 (°C)	16	16,3	15,7	16,2
T2 (°C)	86	86,3	85,7	86,2
DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	22,83	25,05	25,80	23,13
Dt min	12,83	15,05	15,80	13,13

Cocina	Realce
Sistema de combustión	Tipo 1
Combustible	GLP

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas (°C)	18	18	18	18
L1 (m <sup>3</sup> )	12,8808	12,9018	12,922	12,9424
L2 (m <sup>3</sup> )	12,896	12,9169	12,9371	12,9575
DL (m <sup>3</sup> )	0,0152	0,0151	0,0151	0,0151
T1 (°C)	16	16	15,7	15,5
T2 (°C)	86	86	85,7	85,5
DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	22,13	23,13	22,72	21,60
Dt min	12,13	13,13	12,72	11,60

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas (°C)	18	18	18	18
L1 (m <sup>3</sup> )	12,9636	12,9842	13,0082	13,0287
L2 (m <sup>3</sup> )	12,9787	12,999	13,0231	13,0436
DL (m <sup>3</sup> )	0,0151	0,0148	0,0149	0,0149
T1 (°C)	16	16	16,2	16
T2 (°C)	86	86	86,2	86
DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	21,88	22,63	22,78	21,23
Dt min	11,88	12,63	12,78	11,23

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas (°C)	18	18	18	18
L1 (m <sup>3</sup> )	13,1206	13,1378	13,1562	13,184
L2 (m <sup>3</sup> )	13,1357	13,1528	13,1708	13,1991
DL (m <sup>3</sup> )	0,0151	0,015	0,0146	0,0151
T1 (°C)	16	16	15,8	16,5
T2 (°C)	86	86	85,8	86,5
DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	21,68	23,13	22,70	21,60
Dt min	11,68	13,13	12,70	11,60

**CIUDAD DE LA PAZ**

Cocina	Realce
Sistema de combustión	Tipo 1
Combustible	GN

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	19,4502	19,5076	19,5648	19,6236
L2 (m <sup>3</sup> )	19,4952	19,552	19,6086	19,6679
DL (m <sup>3</sup> )	0,045	0,0444	0,0438	0,0443
T1 (°C)	15,9	15,6	15,6	15,8
T2 (°C)	85,9	85,6	85,6	85,8
DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	25,03	28,57	28,07	24,60
Dt min	15,03	18,57	18,07	14,60

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	19,6822	19,7382	19,7958	19,8556
L2 (m <sup>3</sup> )	19,7268	19,7823	19,8407	19,9003
DL (m <sup>3</sup> )	0,0446	0,0441	0,0449	0,0447
T1 (°C)	15,8	15,8	15,7	15,5
T2 (°C)	85,8	85,8	85,7	85,5
DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	24,80	27,97	28,65	24,88
Dt min	14,80	17,97	18,65	14,88

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	19,9022	19,9509	20,0041	20,0512
L2 (m <sup>3</sup> )	19,9467	19,9954	20,0489	20,0959
DL (m <sup>3</sup> )	0,0445	0,0445	0,0448	0,0447
T1 (°C)	15,8	15,9	15,5	16,1
T2 (°C)	85,8	85,9	85,5	86,1
DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	24,97	28,25	28,32	24,75
Dt min	14,97	18,25	18,32	14,75

Cocina	Realce
Sistema de combustión	Tipo 1
Combustible	GLP

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	20,2011	20,224	20,2467	20,2701
L2 (m <sup>3</sup> )	20,2183	20,2409	20,2636	20,2869
DL (m <sup>3</sup> )	0,0172	0,0169	0,0169	0,0168
T1 (°C)	15,8	15,9	15,9	17
T2 (°C)	85,8	85,9	85,9	87
DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10

t2 min	22,05	23,58	23,48	22,02
Dt min	12,05	13,58	13,48	12,02

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	20,2938	20,3168	20,3398	20,3592
L2 (m <sup>3</sup> )	20,3107	20,3336	20,3569	20,3763
DL (m <sup>3</sup> )	0,0169	0,0168	0,0171	0,0171
T1 (°C)	15,4	15	15,8	15,5
T2 (°C)	85,4	85	85,8	85,5
DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	22,02	23,23	22,57	21,98
Dt min	12,02	13,23	12,57	11,98

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas (°C)	20	20	20	20
L1 (m <sup>3</sup> )	20,3814	20,4019	20,4202	20,4398
L2 (m <sup>3</sup> )	20,3985	20,4189	20,4371	20,4568
DL (m <sup>3</sup> )	0,0171	0,017	0,0169	0,017
T1 (°C)	15,9	16	15,8	16,5
T2 (°C)	85,9	86	85,8	86,5
DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	21,58	23,13	22,70	21,60
Dt min	11,58	13,13	12,70	11,60

**CIUDAD DE EL ALTO**

Cocina	Realce
Sistema de combustión	Tipo 1
Combustible	GN

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas (°C)	16	16	16	16
L1 (m <sup>3</sup> )	16,9394	17	17,0592	17,1236
L2 (m <sup>3</sup> )	16,9864	17,0457	17,1058	17,1714
DL (m <sup>3</sup> )	0,047	0,0457	0,0466	0,0478
T1 (°C)	15,9	15,5	16,6	16,1
T2 (°C)	85,9	85,5	86,6	86,1
DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	24,55	27,05	28,33	25,17
Dt min	14,55	17,05	18,33	15,17

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas (°C)	16	16	16	16
L1 (m <sup>3</sup> )	17,1888	17,2496	17,309	17,3726
L2 (m <sup>3</sup> )	17,2359	17,2956	17,3544	17,4192
DL (m <sup>3</sup> )	0,0471	0,046	0,0454	0,0466
T1 (°C)	15,9	16,4	15,7	16
T2 (°C)	85,9	86,4	85,7	86

DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	24,88	28,05	28,12	24,98
Dt min	14,88	18,05	18,12	14,98

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas (°C)	16	16	16	16
L1 (m <sup>3</sup> )	17,4415	17,4924	17,5584	17,6125
L2 (m <sup>3</sup> )	17,4884	17,5385	17,6048	17,6598
DL (m <sup>3</sup> )	0,0469	0,0461	0,0464	0,0473
T1 (°C)	16	16,3	15,5	15,7
T2 (°C)	86	86,3	85,5	85,7
DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	24,70	28,07	28,25	24,85
Dt min	14,70	18,07	18,25	14,85

Cocina	Realce
Sistema de combustión	Tipo 1
Combustible	GLP

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas (°C)	17	17	17	17
L1 (m <sup>3</sup> )	20,5942	20,6178	20,6407	20,6652
L2 (m <sup>3</sup> )	20,6116	20,6353	20,6581	20,6828
DL (m <sup>3</sup> )	0,0174	0,0175	0,0174	0,0176
T1 (°C)	15,3	16	16,1	15,8
T2 (°C)	85,3	86	86,1	85,8
DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	22,23	23,45	23,37	22,55
Dt min	12,23	13,45	13,37	12,55

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas (°C)	18	18	18	18
L1 (m <sup>3</sup> )	20,6905	20,7145	20,738	20,7624
L2 (m <sup>3</sup> )	20,708	20,7319	20,7552	20,7798
DL (m <sup>3</sup> )	0,0175	0,0174	0,0172	0,0174
T1 (°C)	15,9	15,6	15,3	15,3
T2 (°C)	85,9	85,6	85,3	85,3
DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	22,25	23,83	23,43	22,72
Dt min	12,25	13,83	13,43	12,72

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
t. gas (°C)	18	18	18	18
L1 (m <sup>3</sup> )	20,7914	20,8145	20,8446	20,8715

L2 (m <sup>3</sup> )	20,8089	20,8319	20,8621	20,8889
DL (m <sup>3</sup> )	0,0175	0,0174	0,0175	0,0174
T1 (°C)	15,4	15,6	15,5	16,1
T2 (°C)	85,4	85,6	85,5	86,1
DT (°C)	70	70	70	70
t1 min	10	10	10	10
t2 min	22,27	23,70	23,45	22,70
Dt min	12,27	13,70	13,45	12,70

## COMBUSTIÓN

### COCINA TIPO 1

#### CIUDAD DE SANTA CRUZ

<b>Gas de prueba</b>	<b>GN</b>
<b>Temp. Ambiente (°C)</b>	<b>19</b>
<b>Presión del gas (kPa)</b>	<b>1,8</b>

#### Prueba 1

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,002	0	0	0,0015
PPM CO m	20	0	0	15
% CO2 m	2,7	2,3	2,6	2,6
% O2	16,1	16,9	16,4	16,4

#### Prueba 2

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0016	0,0004	0,0003	0,0016
PPM CO m	16	4	3	16
% CO2 m	2,3	2,5	2,3	2,9
% O2	16,9	16,5	16,8	15,9

#### Prueba 3

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,002	0,0002	0,0003	0,0014
PPM CO m	20	2	3	14
% CO2 m	2,6	2,3	2,4	2,6
% O2	16,3	16,6	16,6	16,2

<b>Gas de prueba</b>	<b>GLP</b>
<b>Temp. Ambiente (°C)</b>	<b>17</b>
<b>Presión del gas (kPa)</b>	<b>3,8</b>

#### Prueba 1

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0031	0,0014	0,001	0,0024
PPM CO m	31	14	10	24
% CO2 m	3	2,8	3,3	3,3
% O2	16,5	16,8	16	16

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0069	0,0012	0,0008	0,0037
PPM CO m	69	12	8	37
% CO <sub>2</sub> m	3,4	2,6	3,1	3,2
% O <sub>2</sub>	15,8	17,1	16,3	15,7

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0043	0,0015	0,0018	0,003
PPM CO m	43	15	18	30
% CO <sub>2</sub> m	3,4	3	2,7	3,2
% O <sub>2</sub>	16,2	16,5	16,8	15,8

**CIUDAD DE COCHABAMBA**

<b>Gas de prueba</b>	<b>GN</b>
<b>Temp. Ambiente ( °C)</b>	<b>19</b>
<b>Presión del gas (kPa)</b>	<b>1,8</b>

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0051	0,0006	0,0005	0,0018
PPM CO m	51	6	5	18
% CO <sub>2</sub> m	2,6	2,3	2,3	2,9
% O <sub>2</sub>	16,3	16,8	16,8	15,8

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,005	0,0007	0,0005	0,0022
PPM CO m	50	7	5	22
% CO <sub>2</sub> m	2,8	2,2	2,3	2,9
% O <sub>2</sub>	16	17	16,8	15,8

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0049	0,0006	0,0005	0,0022
PPM CO m	49	6	5	22
% CO <sub>2</sub> m	2,6	2,3	2,3	2,8
% O <sub>2</sub>	16,3	16,9	16,8	15,9

<b>Gas de prueba</b>	<b>GLP</b>
<b>Temp. Ambiente ( °C)</b>	<b>17</b>
<b>Presión del gas (kPa)</b>	<b>3,8</b>

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0146	0,0048	0,0038	0,0165
PPM CO m	146	48	38	165
% CO2 m	3,6	3,4	3,5	4
% O2	15,6	15,1	15,6	14,9

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0148	0,0035	0,0038	0,0132
PPM CO m	148	35	38	132
% CO2 m	3,4	3,5	3,4	4
% O2	15,8	15,3	15,8	15

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0148	0,0032	0,0034	0,0126
PPM CO m	148	32	34	126
% CO2 m	3,6	3,6	3,4	3,8
% O2	15,8	15,3	15,8	15

**CIUDAD DE LA PAZ**

<b>Gas de prueba</b>	<b>GN</b>
<b>Temp. Ambiente ( °C)</b>	<b>19</b>
<b>Presión del gas (kPa)</b>	<b>1,8</b>

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0072	0,0009	0,0008	0,0028
PPM CO m	72	9	8	28
% CO2 m	2,8	2,4	2,5	2,8
% O2	15,9	16,6	16,5	16

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0068	0,001	0,0008	0,003
PPM CO m	68	10	8	30
% CO2 m	3,2	2,4	2,6	2,8
% O2	15,2	16,7	16,3	15,9

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,007	0,0012	0,001	0,0029
PPM CO m	70	12	10	29

% CO2 m	2,6	2,3	2,4	2,8
% O2	16,3	16,6	16,6	16,2

<b>Gas de prueba</b>	<b>GLP</b>
<b>Temp. Ambiente (°C)</b>	<b>21</b>
<b>Presión del gas (kPa)</b>	<b>4,3</b>

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0225	0,0055	0,0056	0,0175
PPM CO m	225	55	56	175
% CO2 m	4	3,6	3,7	3,3
% O2	14,9	15,8	15	16

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0184	0,0051	0,0051	0,019
PPM CO m	184	51	51	190
% CO2 m	3,7	3,8	3,7	3,5
% O2	15,3	15,2	15,1	15,6

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,023	0,0052	0,0048	0,0192
PPM CO m	230	52	48	192
% CO2 m	3,8	3,7	3,6	3,5
% O2	16,2	16,5	16,8	15,8

**CIUDAD DE EL ALTO**

<b>Gas de prueba</b>	<b>GN</b>
<b>Temp. Ambiente (°C)</b>	<b>15,5</b>
<b>Presión del gas (kPa)</b>	<b>1,8</b>

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0071	0,0015	0,001	0,0029
PPM CO m	71	15	10	29
% CO2 m	3,1	2,7	2,7	3,1
% O2	15,5	16,2	16,2	15,5

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0074	0,0015	0,001	0,0035
PPM CO m	74	15	10	35
% CO2 m	2,7	2,6	2,4	2,8
% O2	16,1	16,4	16,9	15,9

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
----------	------	------	------	------

% CO m	0,0082	0,0016	0,0011	0,0032
PPM CO m	82	16	11	32
% CO <sub>2</sub> m	2,9	2,6	2,5	2,8
% O <sub>2</sub>	16,3	16,9	16,8	15,9

<b>Gas de prueba</b>	<b>GLP</b>
<b>Temp. Ambiente ( °C)</b>	<b>17</b>
<b>Presión del gas (kPa)</b>	<b>3,8</b>

### Prueba 1

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0241	0,0065	0,0053	0,0217
PPM CO m	241	65	53	217
% CO <sub>2</sub> m	4,1	3,7	3,9	3,5
% O <sub>2</sub>	14,5	15,3	15,1	16,4

### Prueba 2

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,022	0,0049	0,0045	0,021
PPM CO m	220	49	45	210
% CO <sub>2</sub> m	4,2	3,7	3,4	3,9
% O <sub>2</sub>	14,2	15,4	15,8	15,1

### Prueba 3

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0251	0,0055	0,0062	0,0236
PPM CO m	251	55	62	236
% CO <sub>2</sub> m	3,7	3,6	3,4	3,8
% O <sub>2</sub>	15,8	15,3	15,8	15

## COCINA TIPO 2

### CIUDAD DE SANTA CRUZ

<b>Gas de prueba</b>	<b>GN</b>
<b>Temp. Ambiente ( °C)</b>	<b>16</b>
<b>Presión del gas (kPa)</b>	<b>1,8</b>

### Prueba 1

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0006	0,003	0,0013	0,0007
PPM CO m	6	30	13	7
% CO <sub>2</sub> m	2,9	2,6	2,8	2,7
% O <sub>2</sub>	15,5	16,3	15,9	16,2

### Prueba 2

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0004	0,0035	0,0009	0,0006
PPM CO m	4	35	9	6
% CO <sub>2</sub> m	2,8	3,3	2,9	2,8
% O <sub>2</sub>	16	15,1	15,8	16,1

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0005	0,0048	0,0012	0,0005
PPM CO m	5	48	12	5
% CO2 m	2,7	2,9	2,8	2,8
% O2	15,2	15	16	15,9

<b>Gas de prueba</b>	<b>GLP</b>
<b>Temp. Ambiente (°C)</b>	<b>32,1</b>
<b>Presión del gas (kPa)</b>	<b>4,4</b>

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0012	0,0128	0,0024	0,0014
PPM CO m	12	128	24	14
% CO2 m	3,6	3,6	3,7	3,6
% O2	14,9	14,1	15,7	15,5

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0016	0,012	0,0017	0,0016
PPM CO m	16	120	17	16
% CO2 m	3,9	3,6	3,6	3,6
% O2	15,1	14,4	15,6	15,5

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0015	0,0105	0,0022	0,002
PPM CO m	15	105	22	20
% CO2 m	3,5	3,5	3,4	3,6
% O2	15,2	14,6	15,6	15,2

**CIUDAD DE COCHABAMBA**

<b>Gas de prueba</b>	<b>GN</b>
<b>Temp. Ambiente (°C)</b>	<b>16</b>
<b>Presión del gas (kPa)</b>	<b>1,8</b>

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0016	0,006	0,002	0,0013
PPM CO m	16	60	20	13
% CO2 m	3	3,2	2,9	2,9
% O2	14,8	15,1	15,9	15,9

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
----------	------	------	------	------

% CO m	0,0012	0,0051	0,002	0,0017
PPM CO m	12	51	20	17
% CO2 m	3,1	3,5	2,9	3
% O2	14,9	14,8	15,8	16

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0014	0,0056	0,0018	0,0015
PPM CO m	14	56	18	15
% CO2 m	3,2	3,4	2,9	3
% O2	15,2	15	16	15,9

<b>Gas de prueba</b>	<b>GLP</b>
<b>Temp. Ambiente (°C)</b>	<b>18,6</b>
<b>Presión del gas (kPa)</b>	<b>3,8</b>

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0106	0,0222	0,0125	0,013
PPM CO m	106	222	125	130
% CO2 m	3,5	4,6	3,5	3,6
% O2	14,5	14,1	15,7	15,5

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,011	0,0247	0,0131	0,0105
PPM CO m	110	247	131	105
% CO2 m	3,6	4,2	3,4	3,5
% O2	14,3	14,6	15,8	15,5

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0115	0,025	0,0124	0,0102
PPM CO m	115	250	124	102
% CO2 m	3,6	4,1	3,4	3,5
% O2	14,5	14,6	15,8	15,2

**CIUDAD DE LA PAZ**

<b>Gas de prueba</b>	<b>GN</b>
<b>Temp. Ambiente (°C)</b>	<b>16</b>
<b>Presión del gas (kPa)</b>	<b>1,8</b>

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0032	0,016	0,004	0,0034
PPM CO m	32	160	40	34
% CO2 m	3	3,7	3,2	2,8
% O2	15,6	14,4	15,4	16

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
----------	------	------	------	------

% CO m	0,0036	0,0165	0,0034	0,004
PPM CO m	36	165	34	40
% CO2 m	2,8	3,7	3,1	3
% O2	15,7	14,8	16,2	16,1

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0031	0,017	0,0038	0,0035
PPM CO m	31	170	38	35
% CO2 m	2,8	3,6	2,7	3
% O2	15,2	15	16	15,9

<b>Gas de prueba</b>	<b>GLP</b>
<b>Temp. Ambiente (°C)</b>	<b>32,1</b>
<b>Presión del gas (kPa)</b>	<b>3,8</b>

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0152	0,0281	0,0168	0,015
PPM CO m	152	281	168	150
% CO2 m	4,1	4,2	3,7	4,1
% O2	14,8	14,6	15,3	14,7

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0139	0,0284	0,0157	0,016
PPM CO m	139	284	157	160
% CO2 m	4,1	4,5	4,1	3,9
% O2	14,8	14,1	14,7	15

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,015	0,0276	0,0159	0,0141
PPM CO m	150	276	159	141
% CO2 m	4	4,3	3,8	3,9
% O2	14,9	14,6	15,2	15,2

**CIUDAD DE EL ALTO**

<b>Gas de prueba</b>	<b>GN</b>
<b>Temp. Ambiente (°C)</b>	<b>16.2</b>
<b>Presión del gas (kPa)</b>	<b>1.8</b>

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0037	0,0184	0,0049	0,0039
PPM CO m	37	184	49	39
% CO2 m	3,4	3,7	3,1	2,9
% O2	14,9	14,5	15,5	15,4

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
----------	------	------	------	------

% CO m	0,0042	0,0189	0,0055	0,0043
PPM CO m	42	189	55	43
% CO2 m	2,8	3,8	3	2,9
% O2	14,9	14,2	15,6	15,8

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0045	0,0178	0,0049	0,0048
PPM CO m	45	178	49	48
% CO2 m	3	3,7	3,2	3,2
% O2	15,1	14,3	15,6	15,5

<b>Gas de prueba</b>	<b>GLP</b>
<b>Temp. Ambiente ( °C)</b>	<b>18,6</b>
<b>Presión del gas (kPa)</b>	<b>3,8</b>

**Prueba 1**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0149	0,0323	0,0164	0,015
PPM CO m	149	323	164	150
% CO2 m	3,6	5	3,7	4
% O2	14,5	13,4	15,4	14,8

**Prueba 2**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,0154	0,0354	0,0167	0,016
PPM CO m	154	354	167	160
% CO2 m	3,9	4,9	3,8	4
% O2	14,2	13,6	15,3	14,6

**Prueba 3**

Quemador	QSTI	QSFI	QSTD	QSFD
% CO m	0,016	0,034	0,0172	0,0162
PPM CO m	160	340	172	162
% CO2 m	3,8	4,7	3,7	3,8
% O2	14,8	13,5	15,4	14,5