

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE DISEÑO DE UNA
COCINA A GAS QUE INFLUYEN EN LA EFICIENCIA TÉRMICA Y EMISIONES**

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLER EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA**

AUTOR:

Luis Eduardo Napan Dominguez

ASESOR:

Freddy Jesús Rojas Chávez

Lima, noviembre, 2020

Resumen

En la actualidad peruana, el mercado referente a las cocinas domesticas presenta una ineficiencia debido a que las que se ofrecen son de baja eficiencia térmica. Esta se encuentra alrededor de 40%. Existen diversos factores que afectan directamente a la baja eficiencia que presentan, tales como la combustión inadecuada debido a un mal diseño. El presente trabajo de investigación tiene por objetivo analizar investigaciones desarrolladas acerca de cómo los parámetros geométricos de un quemador influyen de manera directa en la eficiencia térmica y emisión de gases. Se analizaron ocho investigaciones, cuatro referidos a la eficiencia térmica y cuatro referidos a la emisión de gases, analizando cuales son los que concuerdan entre los distintos autores y de esta manera hallar cuales son los más influyentes en el incremento significativo y los que reducen la emisión de gases. Del análisis se obtuvo que tres de los factores que más influyen en el aumento significativo de la eficiencia son la inclinación de los puertos externos, el número de puertos externos y la altura de carga. Ya que para la inclinación se obtuvo un aumento de hasta un 13%, la variación del número de puertos externos generó un incremento de 7% y la altura de carga genera una variación en la que se genera un punto de máxima eficiencia cuando la altura es ligeramente inferior a la punta de la llama. Por otro lado, para el caso de las emisiones producidas, se tuvo que están relacionados directamente con los de eficiencia térmica ya que un quemador más eficiente genera una menor emisión y una reducción en la cantidad de suministro requerido para la combustión. Se tuvo además que la variación de la altura de carga reduce significativamente las emisiones de CO y NO_x producidos en la combustión.

Contenido

Resumen.....	i
Contenido.....	ii
Introducción.....	1
Objetivos.....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
Marco teórico.....	3
Quemadores de cocina a gas.....	3
Eficiencia térmica.....	4
Emisión de gases.....	4
Parámetros geométricos.....	5
Metodología.....	6
Análisis de parámetros geométricos influyentes en la eficiencia térmica.....	7
Análisis de parámetros geométricos influyentes en la emisión de gases.....	10
Resultados.....	13
Discusión de resultados de análisis de eficiencia.....	13
Discusión de resultados de análisis de emisión de gases.....	14
Conclusiones.....	15
Bibliografía.....	17

Introducción

Las cocinas domésticas a gas ofrecidas en el mercado peruano actualmente son de baja eficiencia térmica, ya que esta se encuentra alrededor de 40% debido a una combustión inadecuada que se presentan en los quemadores. Es por ello por lo que consumen más combustible de lo que necesitan y ello se ve reflejado en un gasto innecesario de combustible. Además de ello la potencia de estos quemadores no son indicados en sus especificaciones técnicas dada por el fabricante (Rojas, Jiménez, & Soto, 2019).

Junto con la combustión inadecuada aire-combustible, la emisión de los gases que se producen en este proceso son de suma importancia ya que de no encontrarse en los rangos permisibles para asegurar una adecuada calidad de aire pueden causar daños a corto o largo plazo en la salud de las personas en contacto directo (EPA, 2017).

Por un lado, las emisiones de combustión de combustibles fósiles y su daño atmosférico sigue aumentando, por otro lado, el agotamiento gradual de los combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural se ha convertido en uno de los más preocupantes y controversiales. El uso de combustibles a base de carbono como el dióxido de carbono (CO_2) y el monóxido de carbono (CO) conducen a un aumento continuo en las emisiones de gases de efecto invernadero. Mientras que el impacto del CO_2 sobre el calentamiento global es significativo, el efecto del CO es muy bajo; sin embargo, el CO tiene efectos indirectos importantes. Es decir, reacciona con radicales OH en la atmósfera y disminuye la cantidad de ellos. Dado que los radicales OH se comportan como un inhibidor de disminuir los fuertes gases de efecto invernadero como el metano (Cellek & Pınarbaşı, 2018).

Existen distintos factores que afectan la baja eficiencia térmica, tales como un diseño inadecuado, una mala selección de materiales para su fabricación, una combustión inadecuada

dada por un combustible de baja calidad, entre otros (Thermal Engineering Ltda., 2013). El presente trabajo de investigación está enfocado al estudio de los parámetros geométricos en el diseño de los quemadores de cocina a gas.

Identificando estos problemas con respecto a la baja eficiencia térmica y emisión de gases en las cocinas domésticas, se busca identificar cuáles son los parámetros geométricos directos en el diseño de los quemadores que afectan la eficiencia térmica. Para posteriormente generar un diseño variando estos parámetros que sea capaz de brindar una mejora en la eficiencia de estos quemadores.

Objetivos

Objetivo general

El objetivo principal del presente trabajo de investigación es determinar cuáles son los parámetros geométricos más importantes en el diseño de un quemador de cocina a gas que influyen directamente la eficiencia térmica y emisión de los gases.

Cabe resaltar que esta investigación está enfocada en el análisis de investigaciones previas relacionadas al tema de mejora de eficiencia térmica para estudiar cuáles son los parámetros geométricos más importantes por variar en el diseño.

Objetivos específicos

Determinar los factores de diseño más importantes para evitar una combustión inadecuada aire-combustible.

Analizar investigaciones previas relacionadas al estudio de la influencia de los parámetros geométricos en la eficiencia térmica de los quemadores de cocina a gas.

Comparar los estudios y obtener cuales son los parámetros geométricos más importantes en la influencia de la eficiencia térmica.

Marco teórico

Se definen algunos conceptos importantes para entender cuál es la importancia del estudio de la eficiencia térmica en los quemadores de cocina a gas.

Quemadores de cocina a gas

Las cocinas a gas son consideradas las máquinas más comunes para la cocción de alimentos en todo el mundo debido a su rápida combustión y alto flujo de calentamiento (Makmool et al., 2011). Sin embargo, existen problemas como la baja uniformidad de distribución del calor que los quemadores emiten. Esto se debe principalmente al diseño de los quemadores (Jugjai, Tia, & Trewetasksorn, 2001). En la industria de cocinas a gas, la uniformidad de la distribución de calor es uno de los parámetros más críticos en el desempeño de la aplicación de cocción que se requiere. Como aspecto crítico se tiene el sobrecalentamiento local que puede causar concentraciones térmicas en los quemadores y de esta manera causar algún tipo de inconveniente. Para este tipo de situaciones críticas o extremas, como ejemplo se puede tener que el fondo de la olla el cual se use para la cocción pueda derretirse y llegar a una fundición del material o simplemente dañarse (Grima-Olmedo, Ramírez-Gómez, & Alcalde-Cartagena, 2014).

La mayoría de las cocinas a gas utilizadas en electrodomésticos se basan generalmente en un flujo radial convencional. Los quemadores más comunes utilizados son los ranurados (Quemador convencional), ya que su diseño permite el mayor aprovechamiento posible de temperatura debido al flujo de calor que son capaces de proporcionar. Estos quemadores presentan una baja eficiencia térmica debido a sus limitaciones de flujo de fluidos en la

transferencia de calor y combustión necesaria para generar el calor. Es por ello que surge el interés en generar una mejora en la eficiencia térmica que conlleve al ahorro de energía de combustible y de esta manera reducir la contaminación ambiental (Ovueni, 2014).

Eficiencia térmica

La eficiencia térmica en las máquinas representa cuál es el porcentaje de calor que se transforma en trabajo. Se representa mediante una fracción entre la energía entregada sobre la energía absorbida. Usualmente esta eficiencia se encuentra entre valores de 30% y 50% y no se puede lograr una eficiencia de 100% debido a que siempre existe un calor residual producido en la combustión (Afework et al., 2018). En el caso específico del uso de las cocinas de GLP, debido a que utilizan una combustión directa simple se conlleva a una eficiencia relativamente baja y alta emisión debido a la pérdida de calor y por la combustión incompleta (Muthukumar & Shyamkumar, 2013). Los combustibles de hidrocarburos tienen altas densidades de energía y siguen siendo preferibles fuentes de energía primaria para abastecer cargas de alta temperatura; sin embargo, las bajas eficiencias de alta temperatura de los quemadores convencionales y la necesidad para disminuir el contaminante liberado por la combustión motiva el desarrollo de diseños de quemadores más efectivos (Hoffmann, Echigo, Yoshida, & Tada, 1997).

Emisión de gases

La contaminación de aire es una de las problemáticas más importantes en la actualidad, algunos de los aspectos que más influyen en la contaminación del aire son el calentamiento global, agotamiento del ozono y la lluvia ácida. Además de ello la contaminación de aire interior tales como los niveles de material particulado y ozono tienden a conducir efectos adversos para la salud de las personas (Landrigan, 2017). La calidad ambiental de aire interior

requiere una atención adecuada debido a los periodos largos de exposición de las personas, que incluyen las personas de edad más avanzada, quienes son los más vulnerables a enfermedades respiratorias (Abtahi et al., 2018).

La contaminación ambiental es uno de los riesgos más peligrosos, representa alrededor de 5 millones de muertes por diversas enfermedades respiratorias causadas por la contaminación ambiental (Global Burden of Disease Collaborative Network, 2018). Los quemadores de cocina a gas generan un efecto sobre la contaminación ambiental debido a la combustión que se genera. Se emiten concentraciones de monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂) y formaldehído (HCHO), lo último ocurre cuando la combustión es muy mala (Logue, Klepeis, Lobscheid, & Singer, 2014).

Parámetros geométricos

Los principales elementos de un quemador son tres. El inyector es desde donde se descarga el gas combustible, el gas al expandirse actúa como fluido inductor para arrastrar al aire primario de la atmósfera. El mezclador es donde el gas y el aire arrastrado se mezclan, buscando siempre alivio de presiones y buen contacto entre aire y gas. La cabeza del quemador es donde se efectúa la combustión de la mezcla aire-combustible al fluir la mezcla por las boquillas o agujeros (Amell, Gil, & Cadavid, 1999).

Existen diversos modelos de quemadores entre los cuales se encuentran los quemadores rápidos, semi rápidos y los ultrarrápidos, los cuales presentan distintos tipos de diseño. Sin embargo todos los modelos presentan tres partes importantes: el quemador, mezclador y el inyector (Aroonjarattham, 2016). La presente investigación solo se centra en los parámetros de diseño para el cabezal del quemador que influye en la eficiencia, el cual en su mayoría presenta las partes indicadas en la Figura 1 que se presenta a continuación.

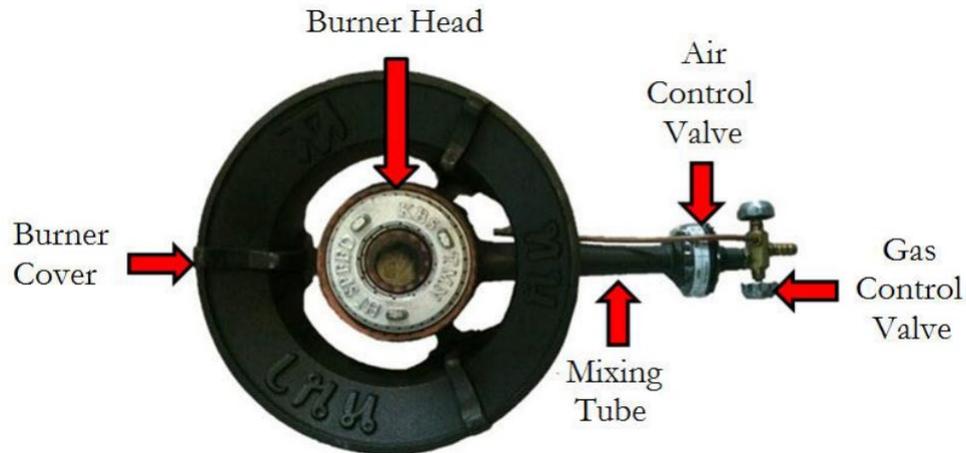


Figura 1. Componentes de un quemador de gas.

Tomado de “The Parametric Studied of High Pressure Gas Burner Affect Thermal Efficiency”, por Aroonjaratham, 2016.

La característica más importante del cabezal del quemador es que afecta de manera directa a la eficiencia térmica ya que en conjunto con el mezclador, es donde ocurre el proceso de combustión.

Metodología

La metodología que se utilizó en el presente trabajo de investigación consistió en dos análisis respecto a los parámetros geométricos de un quemador a gas. En el primero se realizó un análisis de estudios sobre cuales son los parámetros más influyentes en la eficiencia térmica con el fin de poder generar un diseño que mejore esta eficiencia y se reduzca el consumo de energía requerida. En el segundo se realizó otro análisis sobre los parámetros geométricos, pero esta vez enfocados a su influencia con respecto a las emisiones de gases con el fin de poder reducir estas emisiones mejorando el proceso de combustión y tener de esta manera un ambiente más limpio en donde sus concentraciones de gases estén notoriamente reducidas. Finalmente se evaluaron cada uno de los análisis para obtener de esta manera los parámetros geométricos a variar en el diseño de los quemadores a gas.

Análisis de parámetros geométricos influyentes en la eficiencia térmica

El poder calorífico de un combustible, que depende de su composición, afecta en gran medida el rendimiento del quemador. El uso del mismo quemador para quemar gas natural con varios valores caloríficos es inapropiado y peligroso debido a la posible ocurrencia de combustión incompleta (es decir, un gran aumento de emisiones de CO y/o formación de hollín), despegue, retroceso de llama y aporte de calor inadecuado. Se realizó un estudio con el tema: “Emissions and efficiency of a domestic gas stove burning natural gases with various compositions” realizada por los investigadores Yung-Chang Ko y Ta-Hui Lin, tuvo como objetivo evaluar los efectos de los cambios en la composición del gas sobre el rendimiento del quemador y proponer un diseño adecuado o factores operativos de quemadores de gas domésticas que queman gas natural con varios valores caloríficos. Se adoptó un quemador de gas único, originalmente diseñado para quemar gas natural con bajo poder calorífico, para investigar los efectos de las variaciones en la composición del gas sobre el rendimiento del quemador. Se informó y discutió la influencia de cinco parámetros importantes, incluida la composición del gas, la aireación primaria, el caudal de gas (entrada de calor), la presión del suministro de gas y la altura de carga, sobre la eficiencia térmica y las emisiones de CO. El uso de gas natural con alto poder calorífico en lugar de gas natural con bajo poder calorífico da como resultado una disminución de la eficiencia térmica (debido a un mayor aporte térmico) y un aumento de la emisión de CO (causado por una combustión incompleta). Estos problemas pueden mejorarse significativamente disminuyendo la presión del gas a un valor adecuado, ampliando la aireación primaria a un nivel favorable, seleccionando una entrada térmica adecuada o ajustando la altura de calentamiento optimizada (Ko & Lin, 2003).

En Tailandia se realizó una investigación con el tema: “The Parametric Studied of High Pressure Gas Burner Affect Thermal Efficiency”, realizada por Panya Aroonjarattham. La

investigación fue sobre quemadores de gas de alta presión KB-5 ya que son los más populares en Tailandia. La investigación tuvo como objetivo estudiar la influencia de cuatro parámetros importantes, a saber, los grados de los puertos externos e internos y el número de puertos externos e internos de los quemadores de gas de alta presión, en la eficiencia térmica de los experimentos. La eficiencia térmica se probó con referencia a las estufas industriales estándar en el hogar con gas licuado de petróleo (TIS 2312-2549). Los resultados mostraron que los ángulos crecientes del puerto externo aumentaron un 13% la eficiencia térmica, el número creciente de puertos externos aumentó un 5% la eficiencia térmica y el aumento de los números de puertos internos aumentó un 7% la eficiencia térmica del modelo de fábrica. Los ángulos crecientes del puerto interior tuvieron menos efecto sobre la eficiencia térmica. La mejora del quemador de gas de alta presión se habrá modificado al aumentar el número de puertos exterior e interior y los ángulos del puerto exterior para una mayor eficiencia térmica que el diseño de la fábrica (Aroonjarattham, 2016).

Las llamas de chorro laminar se utilizan en la mayoría de los quemadores de gas domésticos. Sin embargo, la literatura sobre combustión, características y eficiencias térmicas de una sola llama de chorro laminar que incide son muy limitadas. La altura de calentamiento es un parámetro de funcionamiento importante de una estufa de gas doméstica, pero ha recibido poca atención en la literatura. Se realizó una investigación con el tema: “Effects of heating height on flame appearance, temperature field and efficiency of an impinging laminar jet flame used in domestic gas stoves”, por Shuhn-Shyurng Hou y Yung-Chang Ko. En el estudio, el objetivo fue simular y examinar el efecto de la altura de calentamiento sobre las características de la llama de una estufa de gas doméstica. Se hizo hincapié en la importancia de la altura de calentamiento en la estructura de la llama, la distribución de la temperatura y la eficiencia térmica para las llamas de aire y metano ricas en combustible de bajo número de Reynolds que inciden en la superficie normal de un plano, lo que aún no ha sido documentado. Los resultados

muestran que la estructura de la llama, la distribución de la temperatura y la eficiencia térmica están muy influenciadas por la altura de calentamiento. Con el aumento de la altura de calentamiento, la eficiencia térmica primero aumenta a un valor máximo y luego disminuye. Una altura de calentamiento óptima, identificada por la zona de alta temperatura más amplia y la mayor eficiencia térmica, se logra bajo la condición de combustión de llama tipo C, en la que tanto la llama premezclada interna como la llama de difusión externa está abierta y diverge. Además, se encontró que la altura de calentamiento óptima aumenta al aumentar la concentración de metano o la velocidad de inyección. Tenga en cuenta que la máxima eficiencia térmica se produce cuando la altura de calentamiento es ligeramente inferior a la punta de la llama rica premezclada. Esta importante característica se puede aplicar al diseño de estufas de gas domésticas y no se encontró en el trabajo publicado disponible (S. S. Hou & Ko, 2004).

Esta investigación experimental fue desarrollada por los autores Hou, Shuhn-Shyurng; Lee, Chien-Ying; Lin, Ta-Hui con el tema: "Efficiency and emissions of a new domestic gas burner with a swirling flame". El cual tuvo como objetivo estudiar la influencia de cinco parámetros significativos: flujo de remolino, altura de carga, aireación primaria, tasa de flujo de gas (entrada de calor), presión de suministro de gas y llama de combustión semi-confinada en la eficiencia térmica y las emisiones de CO de quemadores de gas domésticos. Se centraron especialmente en los efectos de una llama en remolino en el rendimiento de un nuevo quemador de flujo en remolino (SB). Los resultados mostraron que el quemador de flujo de turbulencia (SB) produce una mayor eficiencia térmica y emite una concentración de CO ligeramente más alta que la del quemador de flujo radial convencional (RB). Estas características se atribuyen a la mejora significativa en el coeficiente de transferencia de calor en el fondo del recipiente resultante del tiempo de residencia prolongado de los productos de combustión en las proximidades del fondo del recipiente. Con el aumento de la altura de carga, la emisión de CO

disminuye debido a la reducción del enfriamiento por impacto de la llama en la carga. Sin embargo, a una gran altura de carga, la llama y los gases de combustión se enfrían en mayor medida mezclándolos con el aire ambiente antes de entrar en contacto con el recipiente de carga y, por lo tanto, el gradiente de temperatura para la transferencia de calor disminuye, lo que conduce a la disminución de la eficiencia térmica. A medida que aumenta la entrada térmica, se reduce la eficiencia térmica y aumenta la emisión de CO. Con el aumento de la aireación primaria, la emisión de CO disminuye, pero la eficiencia térmica casi no se ve afectada. Además, la adición de un escudo (llamado llama de combustión semi-confinada) logra un gran aumento en la eficiencia térmica. La eficiencia térmica del SB con la llama de combustión semi-confinada produce una eficiencia térmica notablemente más alta, en aproximadamente un 12%, que la del RB con llama abierta (S.-S. Hou, Lee, & Lin, 2007).

Análisis de parámetros geométricos influyentes en la emisión de gases

Se realizó una investigación con el tema: “The Effects of Design Factors on Emissions From Natural Gas Cooktop Burners”, por Rosita Junus, John Frank Stubington y Geoffrey David Sergeant. En donde se investigaron los efectos de los siguientes factores de diseño de quemadores sobre las emisiones de NO₂, NO_x, CO e hidrocarburo: material de la tapa, tamaño de la tapa, forma del puerto, tamaño del puerto, espaciado del puerto, aireación secundaria central y llama a insertar. El enfoque que se dio al estudio fue investigar ambiguos o contradictorios conclusiones encontradas en estudios anteriores. Se utilizó el método de diseño experimental factorial para organizar los experimentos, y los resultados se analizaron estadísticamente mediante el análisis de varianza. Se encontró estabilidad de la llama al ser crucial; una leve inestabilidad promovió un gran aumento de las emisiones de CO, hidrocarburos y NO₂. Se descubrió que la geometría del puerto es la forma del factor de diseño del quemador más importante que afecta las emisiones, y por lo tanto es un factor potencial

que se debe estudiar más a fondo para reducir las emisiones (Junus, Stubington, & Sergeant, 1994).

En otra investigación con el tema: “NO_x emissions from radiant gas burners”, por Barnes, F.J., Bromly, J.H., Edwards, T.J. Se encontró que la generación de NO_x por un quemador de gas radiante doméstico modificado depende principalmente del nivel de aireación primaria y, en menor medida, de la tasa de entrada de gas y la temperatura de la superficie de la baldosa. Se lograron reducciones significativas en la emisión de NO_x de los quemadores radiantes utilizando un exceso de aire en la mezcla primaria. Pruebas adicionales con un quemador radiante experimental, en el que el aire de combustión se reemplazó selectivamente por una mezcla de oxígeno/argón, indicaron que la formación de NO_x en condiciones de alta aireación primaria se debía principalmente al mecanismo rápido (Barnes, Bromly, & Edwards, 1988).

Con el objetivo de evaluar algunos parámetros que influyen en las emisiones, los autores Shuhn-Shyurng Hou y Ching-Hung Chou desarrollaron una investigación titulada “Parametric Study of High-Efficiency and Low-Emission Gas Burners”. El estudio se centró en tres parámetros significativos: flujo de remolino, altura de carga y llama de combustión semi-confinada. Los resultados mostraron que el quemador de flujo de remolino produce una mayor eficiencia térmica y emite una menor concentración de CO que las del quemador de flujo radial convencional. Con un remolino mayor, el ángulo da como resultado una mayor eficiencia térmica y a su vez una mayor emisión de CO. Con el aumento de la altura de carga, la eficiencia térmica aumenta, pero la emisión de CO disminuye. Para una altura de carga menor (2 o 3 cm), la mayor eficiencia se produce en el ángulo de inclinación de 15°. Por otro lado, a una altura de carga superior a 4 cm, la eficiencia térmica aumenta con el ángulo de inclinación. Además, la adición de un escudo puede lograr un gran aumento en la eficiencia

térmica, alrededor del 4-5%, y una disminución en las emisiones de CO para el mismo quemador, remolino flujo o flujo radial (S. S. Hou & Chou, 2013).

Los investigadores Ashman, P. J.; Junus, R.; Stubington, J. F.; Sergeant, G. D. realizaron un estudio con el tema: "The Effects of Load Height on the Emissions from a Natural Gas-Fired Domestic Cooktop Burner". El estudio se centró en un quemador de placa de cocción de producción única con tres niveles de entrada térmica, para determinar los efectos de la altura de carga sobre su eficiencia y emisiones. La altura de la carga se definió como la distancia vertical desde el centro de la base del recipiente de carga hasta la parte superior de los puertos del quemador. Para simular la operación práctica lo más exacta posible, se utilizó el inyector de gas de producción, de modo que la aireación primaria varió con la entrada térmica en estos experimentos. Las regulaciones de la Asociación Australiana de Gas limitan el rango operativo de altura de carga para este quemador a valores entre 7 mm ($CO / CO_2 < 0.01$) y 48 mm (eficiencia > 40%). Se observaron tasas mínimas de emisión de NO_2 de 8,7, 8,0 y 8,8 ng / J (lb/million Btu) a alturas de carga de 25, 40 y 48 mm respectivamente, con aportaciones térmicas de 0,49, 0,83 y 1,65 kW respectivamente. Se propuso una nueva medida de emisión de contaminantes, para proporcionar un medio de evaluar el "equilibrio" entre los requisitos para una tasa de emisión más baja y una mayor eficiencia térmica. La emisión total de un contaminante se calculó durante una tarea de cocción estándar, utilizando datos de eficiencia térmica y de emisión medidos simultáneamente. Para el NO_2 , esta emisión total se minimizó a alturas de carga de 20, 30 y 18 mm para aportes térmicos de 0,49, 0,82 y 1,65 kW respectivamente. Por lo tanto, la altura de carga operativa estándar (18 mm) para este quemador minimiza esta emisión total de NO_2 en su entrada térmica máxima diseñada (Ashman, Junus, Stubington, & Sergeant, 1994).

Resultados

Discusión de resultados de análisis de eficiencia

La investigación realizada por el autor Panya Aroonjarattham se centró en quemadores de gas de alta presión KB-5 debido a que son los más utilizados en Tailandia (Lugar donde se realizó la investigación). Se puede observar que el parámetro más influyente del estudio fue el ángulo del puerto externo ya que al variar este parámetro de manera creciente, se obtuvo un incremento de hasta el 13% de la eficiencia térmica. También al incrementar el número de puertos externos e internos, la eficiencia tuvo un incremento de hasta 5% y 7% respectivamente. Por otro lado, también se realizó el incremento del ángulo del puerto interno; sin embargo, se tuvo menor efecto sobre la eficiencia de la eficiencia térmica. En el caso de la investigación realizada por los autores Shuhn-Shyurng Hou y Yung-Chang Ko se estudió el efecto de la altura de calentamiento en la estructura de la llama, la distribución de la temperatura sobre la eficiencia térmica. Se observó que la altura de calentamiento tiene mucha influencia sobre la eficiencia debido a que esta aumenta hasta un valor máximo y luego disminuye generando una curva con un punto de máxima eficiencia. El punto máximo se produce cuando la altura de calentamiento es ligeramente inferior a la punta de la llama rica premezclada. Además de ello, en la investigación que se realizó por los autores Hou, Shuhn-Shyurng; Lee, Chien-Ying; Lin, Ta-Hui se estudiaron los siguientes parámetros: flujo de remolino, altura de carga, aireación primaria, tasa de flujo de gas (entrada de calor), presión de suministro de gas y llama de combustión semiconfinada en la eficiencia térmica y las emisiones de CO de quemadores de gas domésticos. A una gran altura de carga, la llama y los gases de combustión se enfrían en mayor medida mezclándolos con el aire ambiente antes de entrar en contacto con el recipiente de carga y, por lo tanto, el gradiente de temperatura para la transferencia de calor disminuye, lo que conduce a la disminución de la eficiencia térmica. Por

ende, a medida que aumenta la entrada térmica, se reduce la eficiencia térmica y aumenta la emisión de CO.

Por último, de acuerdo con la investigación realizada por los autores Yung Chang Ko y Ta Hui Lin podemos observar que además de los parámetros geométricos que influyen en la eficiencia térmica de un quemador doméstico, la composición del gas que se usa es influyente también en la eficiencia. Se tuvo como resultado que el poder calorífico estaba relacionado inversamente proporcional a la eficiencia térmica ya que al usarse un gas natural con mayor poder calorífico se obtuvo una disminución de eficiencia térmica debido a un incremento del aporte térmico que se da al presentarse un mayor poder calorífico.

Discusión de resultados de análisis de emisión de gases

Con respecto a la influencia de los parámetros geométricos de un quemador doméstico sobre la influencia de las emisiones que produce, se puede ver evidenciado que el material de la tapa, tamaño de la tapa, forma del puerto, tamaño del puerto, espaciado del puerto, aireación secundaria central y llama a insertar, son influyentes de acuerdo con la investigación realizada por los autores Rosita Junus, John Frank Stubington y Geoffrey David Sergeant. En donde se obtuvo como resultado que la estabilidad de la llama es crucial, ya que una leve inestabilidad promueve un gran aumento de las emisiones de CO, hidrocarburos y NO₂. También se descubrió que la geometría del puerto es la forma del factor de diseño del quemador más importante que afecta las emisiones, y por lo tanto es un factor potencial que se debe estudiar más a fondo para reducir las emisiones. Se sabe que la generación de NO_x por un quemador de gas radiante doméstico modificado depende principalmente del nivel de aireación primaria y, en menor medida, de la tasa de entrada de gas y la temperatura de la superficie de la baldosa, de acuerdo con los autores Barnes, F.J., Bromly, J.H., Edwards, T.J. Ya que en su estudio realizado se obtuvieron reducciones significativas en la emisión de NO_x de los quemadores

radiantes utilizando un exceso de aire en la mezcla primaria. Otros de los parámetros más importantes son los siguientes: flujo de remolino, altura de carga y llama de combustión semi-confinada. Los resultados obtenidos en la investigación realizada por los autores Shuhn-Shyurng Hou y Ching-Hung, mostraron que el quemador de flujo de remolino produce una mayor eficiencia térmica y emite una menor concentración de CO que las del quemador de flujo radial convencional. Con un remolino mayor, el ángulo da como resultado una mayor eficiencia térmica y a su vez una mayor emisión de CO. Con el aumento de la altura de carga, la eficiencia térmica aumenta, pero la emisión de CO disminuye. Para una altura de carga menor (2 o 3 cm), la mayor eficiencia se produce en el ángulo de inclinación de 15°, conllevando directamente a una reducción significativa de las emisiones. El último estudio que se analizó en el presente trabajo de investigación, se centró en un quemador de placa de cocción de producción única con tres niveles de entrada térmica, en donde se determinaron los efectos de la altura de carga sobre su eficiencia y emisiones. Se observaron tasas mínimas de emisión de NO₂ de 8,7, 8,0 y 8,8 ng / J (lb/million Btu) a alturas de carga de 25, 40 y 48 mm respectivamente, con aportaciones térmicas de 0,49, 0,83 y 1,65 kW respectivamente. Para el NO₂, esta emisión total se minimizó a alturas de carga de 20, 30 y 18 mm para aportes térmicos de 0,49, 0,82 y 1,65 kW respectivamente. Por lo tanto, la altura de carga operativa estándar (18 mm) para este quemador minimiza esta emisión total de NO₂ en su entrada térmica máxima diseñada.

Conclusiones

De los parámetros que influyen en la eficiencia térmica, podemos observar que, de acuerdo con el análisis realizado en el presente trabajo de investigación, los parámetros más influyentes son el incremento de los grados de los puertos externos e internos, el número de puertos externos e internos, la altura de la carga, el cuál se define como la distancia vertical

desde el centro de la base del recipiente de carga hasta la parte superior de los puertos del quemador, flujo de remolino, aireación primaria, tasa de flujo de gas (entrada de calor), presión de suministro de gas y llama de combustión semi-confinada. Dos de las investigaciones concuerdan con respecto a que uno de los más influyentes es la altura de la carga debido a que una altura de calentamiento óptima, identificada por la zona de alta temperatura más amplia y la mayor eficiencia térmica, se logra bajo la condición de combustión de llama tipo C, en la que tanto la llama premezclada interna como la llama de difusión externa está abierta y diverge. Por ende, concluimos que los parámetros que generan un cambio significativo en el incremento de la eficiencia son la altura de la carga, la inclinación de los puertos externos y el número de puertos que presente el quemador en su geometría.

Por otro lado, para el análisis de parámetros que influyen en las emisiones que producen los quemadores domésticos, se concluye que en parte también están relacionados directamente con los parámetros que influyen en la eficiencia térmica, debido a que si un quemador es más eficiente entonces genera una menor emisión de gases junto con una reducción en el consumo de suministro. Los autores Ashman, P. J.; Junus, R.; Stubington, J. F.; Sergeant, G. D, concuerdan con ello ya que en su investigación se desarrolló el efecto de la altura de carga, previamente definido, sobre las emisiones dando como resultado que están relacionados significativamente. Se debe tener en cuenta que, al momento de diseñar, los parámetros geométricos son de suma importancia a tener en cuenta para que el funcionamiento del quemador sea lo más eficiente posible y reduzca la cantidad de emisiones que se produzca para no dañar el medio ambiente o la salud de las personas que están expuestas diariamente al momento de la cocción de los alimentos.

Bibliografía

- Abtahi, M., Fakhri, Y., Conti, G. O., Ferrante, M., Taghavi, M., Tavakoli, J., ... Khaneghah, A. M. (2018). The concentration of BTEX in the air of Tehran: A systematic review-meta analysis and risk assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/ijerph15091837>
- Afework, B., Hanania, J., Heffernan, B., Jenden, J., Stenhouse, K., & Donev, J. (2018). Thermal efficiency. Recuperado de https://energyeducation.ca/encyclopedia/Thermal_efficiency
- Amell, A., Gil, E., & Cadavid, F. (1999). Emisiones de monóxido de carbono y metano en un quemador atmosférico de gas natural. *Facultad de ingeniería-Universidad de Antioquia*, 56-66.
- Aroonjarattham, P. (2016). The parametric studied of high pressure gas burner affect thermal efficiency. *Engineering Journal*, 20(3), 33-48. <https://doi.org/10.4186/ej.2016.20.3.33>
- Ashman, P. J., Junus, R., Stubington, J. F., & Sergeant, G. D. (1994). The Effects of Load Height on the Emissions from a Natural Gas-Fired Domestic Cooktop Burner. *Combustion Science and Technology*, 103(1-6), 283-298. <https://doi.org/10.1080/00102209408907699>
- Barnes, F. J., Bromly, J. H., & Edwards, T. J. (1988). NO(x) emissions from radiant gas burners. *ournal of the Institute of Energy*, 61(449), 184-188.
- Cellek, M. S., & Pınarbaşı, A. (2018). Investigations on performance and emission characteristics of an industrial low swirl burner while burning natural gas, methane, hydrogen-enriched natural gas and hydrogen as fuels. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(2), 1194-1207. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.05.107>
- EPA. (2017). Air Pollutant Emissions Trends Data. Recuperado de <https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/air-pollutant-emissions-trends-data>

- Global Burden of Disease Collaborative Network. (2018). *Global Burden of Disease Study 2017 (GBD 2017) Results*. Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME).
Recuperado de <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>
- Grima-Olmedo, C., Ramírez-Gómez, A., & Alcalde-Cartagena, R. (2014). Energetic performance of landfill and digester biogas in a domestic cooker. *Applied Energy*, 134, 301-308. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.032>
- Hoffmann, J. G., Echigo, R., Yoshida, H., & Tada, S. (1997). Experimental study on combustion in porous media with a reciprocating flow system. *Combustion and Flame*, 111(1-2), 32-46. [https://doi.org/10.1016/S0010-2180\(97\)00099-0](https://doi.org/10.1016/S0010-2180(97)00099-0)
- Hou, S.-S., Lee, C.-Y., & Lin, T.-H. (2007). Efficiency and emissions of a new domestic gas burner with a swirling fame. *Energy Conversion and Management*, 48(5), 1401-1410. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.12.001>
- Hou, S. S., & Chou, C. H. (2013). Parametric study of high-efficiency and low-emission gas burners. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/154957>
- Hou, S. S., & Ko, Y. C. (2004). Effects of heating height on flame appearance, temperature field and efficiency of an impinging laminar jet flame used in domestic gas stoves. *Energy Conversion and Management*, 45(9-10), 1583-1595. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2003.09.016>
- Jugjai, S., Tia, S., & Trewetaskorn, W. (2001). Thermal efficiency improvement of an LPG gas cooker by a swirling central flame. *International Journal of Energy Research*, 25(8), 657-674. <https://doi.org/10.1002/er.708>
- Junus, R., Stubington, J. F., & Sergeant, G. D. (1994). The effects of design factors on emissions from natural gas cooktop burners. *International Journal of Environmental Studies*, 45(2), 101-121. <https://doi.org/10.1080/00207239408710885>

- Ko, Y. C., & Lin, T. H. (2003). Emissions and efficiency of a domestic gas stove burning natural gases with various compositions. *Energy Conversion and Management*, 44(19), 3001-3014. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(03\)00074-8](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00074-8)
- Landrigan, P. J. (2017). Air pollution and health. *The Lancet Public Health*, 2(1), e4-e5. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(16\)30023-8](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(16)30023-8)
- Logue, J. M., Klepeis, N. E., Lobscheid, A. B., & Singer, B. C. (2014). Pollutant exposures from natural gas cooking burners: A simulation-based assessment for Southern California. *Environmental Health Perspectives*, 122(1), 43-50. <https://doi.org/10.1289/ehp.1306673>
- Makmool, U., Jugjai, S., Tia, S., Laonual, Y., Vallikul, P., & Fungtammasan, B. (2011). Laser-based investigations of flow fields and OH distributions in impinging flames of domestic cooker-top burners. *Fuel*, 90(3), 1024-1035. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.11.011>
- Muthukumar, P., & Shyamkumar, P. I. (2013). Development of novel porous radiant burners for LPG cooking applications. *Fuel*, 112, 562-566. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.09.006>
- Ovueni, U. J. (2014). Comparative study of the heating capacity of biogas and conventional cooking gas U J Ovueni. *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*, 3(1), 7-10. Recuperado de <http://www.theijes.com/papers/v3-i1/Version-1/B030101007010.pdf>
- Rojas, F. J., Jiménez, F. O., & Soto, J. (2019). Análisis Teórico y Experimental de la Potencia, Eficiencia Térmica y Emisiones de Cocinas Industriales que usan Gas Licuado de Petróleo. *Información tecnológica*, 30(4), 301-310. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000400301>
- Thermal Engineering Ltda. (2013). *Análisis de la eficiencia en Calderas*. 1-12.

