



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE

TEMA:

“ESTUDIO DE PARÁMETROS DE COMBUSTIÓN EN QUEMADORES A GAS DE USO DOMÉSTICO APLICANDO TERMOGRAFÍA Y SU INCIDENCIA EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA”

AUTOR: NÚÑEZ GALARZA DIEGO JAVIER

AMBATO-ECUADOR

2015

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de TUTOR del trabajo de Investigación sobre el tema :
“ESTUDIO DE PARÁMETROS DE COMBUSTIÓN EN QUEMADORES A GAS DE USO DOMÉSTICO APLICANDO TERMOGRAFÍA Y SU INCIDENCIA EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA”, desarrollado por el Señor Diego Javier Núñez Galarza, egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico que el presente trabajo de investigación es original de Diego Javier Núñez Galarza, ha sido revisada en cada uno de sus capítulos y cumple con todos los requerimientos para continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, Febrero de 2015

.....

Ing. Santiago Cabrera

TUTOR DE TESIS

AUTORIA DE LA TESIS

Los criterios emitidos en el trabajo de investigación : **“ESTUDIO DE PARÁMETROS DE COMBUSTIÓN EN QUEMADORES A GAS DE USO DOMÉSTICO APLICANDO TERMOGRAFÍA Y SU INCIDENCIA EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA ”**, como también los contenidos , ideas , análisis , conclusiones y propuestas son de exclusiva responsabilidad de Diego Javier Núñez Galarza, de este trabajo de investigación.

.....

Diego Javier Núñez Galarza

DEDICATORIA

A mi Dios por haberme dado la vida llena de bendiciones y regalarme una hermosa familia, a mi madre Zoila Galarza por haber confiado en mí y quien fue mi apoyo incondicional para poder lograr juntos esta meta.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a toda mi familia, amigos quienes me apoyaron en todo sentido

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil Y Mecánica por sus enseñanzas tanto en el campo personal como el profesional base fundamental para mi nueva etapa de vida.

A mi tutor Ing. Santiago Cabrera por la guía, colaboración y paciencia para el desarrollo de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PAGINAS PRELIMINARES

TÍTULO.....	I
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORIA DE LA TESIS	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN EJECUTIVO	XIV
CAPÍTULO I.....	1
1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Tema.....	1
1.2. Planteamiento del Problema.....	1
1.2.1. Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis Crítico	2
1.2.3 Prognosis	2
1.2.4 Formulación del problema	2

1.2.5 Interrogantes.....	3
1.2.6 Delimitación del objeto de investigación	3
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo General	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II	5
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Antecedentes investigativos	5
2.2 Fundamentación filosófica	7
2.3 Categorías fundamentales	8
2.3.1 Introducción	8
2.3.2 Gas licuado de petróleo (GLP).....	9
2.3.3 Combustión	10
2.3.4 Mecanismo de la Combustión.....	11
2.3.5 Aire de Combustión	11
2.3.6 Factores de los que depende una correcta combustión	12

2.3.7 Tipos de llamas	14
2.3.8 Temperatura Teórica de Combustión.....	14
2.3.9 Temperatura Teórica de Combustión.....	14
2.3.10 Optimización del Exceso de Aire.....	16
2.3.11 Termografía.....	18
2.3.12 Cámara Termográfica.....	18
2.3.13 Emisividad	18
2.3.14 Quemadores.....	19
2.3.15 Quemadores Atmosférico.....	20
2.4 Hipótesis.....	20
2.5 Señalamiento de variables.....	21
CAPÍTULO III.....	22
3. METODOLOGÍA	22
3.1 Modalidad básica de investigación	22
3.1.1 Experimental	22
3.2 Nivel o tipo de investigación.....	23
3.2.1 Nivel.....	23

3.2.2 Tipo	24
3.3 Población y Muestra.....	24
3.3.1 Población.....	24
3.3.2 Muestra.....	25
3.4 Operacionalización de variables	26
3.4.1 Variable Independiente: Parámetros de combustión.....	26
3.4.2 Variable Dependiente: Eficiencia energética	27
3.5 Plan de procesamiento de la información	28
3.6 Plan de análisis de la información.....	30
CAPÍTULO IV	33
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	33
4.1 Análisis de resultados.....	33
4.1.1 Análisis de la variación de temperatura puntual vs presión.....	33
4.1.2 Análisis de pruebas mediante la variación del caudal.....	37
4.2 Interpretación de resultados	41
4.3 Verificación de la hipótesis	45
CAPÍTULO V	47

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	47
5.1	Conclusiones	47
5.2	Recomendaciones.....	48
CAPÍTULO VI.....		49
6.	PROPUESTA.....	49
6.1	Datos informativos	49
6.2	Antecedentes de la propuesta.....	50
6.3	Justificación.....	50
6.4	Objetivos	51
6.4.1	Objetivo General	51
6.4.2	Objetivo Específico.....	51
6.5	Análisis de factibilidad.....	51
6.6	Fundamentación	51
6.6.1	Análisis del proceso de calentamiento de agua utilizando el quemador de GLP	51
6.6.2	Análisis termográfico del proceso de calentamiento de agua del quemador de GLP utilizando la cámara termográfica Flir E4	53
6.7	Metodología	54

6.7.1 Cálculos térmicos	55
6.8 Administración.....	71
6.9 Previsión de la evaluación.....	72
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Red de categorías fundamentales	8
Figura 2.4 Quemador atmosférico de cocina domestica	20
Figura 4.1 Temperatura vs Tiempo de consumo a P= 2 Psi	34
Figura 4.2 Temperatura vs Tiempo de consumo a P= 1 Psi	36
Figura 4.3 Temperatura vs Tiempo a una P=0,5 Psi.....	38
Figura 4.4 Temperatura vs tiempo del consumo a P=0,5 Psi.....	40
Figura 4.5 Gráfica de comparación de temperatura a 1 y 2 Psi	41
Figura 4.6 Gráfica de comparación de temperatura a 0,5 Psi	42
Figura 6.1 Temperatura del agua vs Tiempo a una P=0,5 Psi	52
Figura 6.2 Temperatura puntual vs Tiempo a una P=0,5 Psi.....	53

Figura 6.3 Calor de combustión	55
Figura 6.4 Calor ganado por el agua	57
Figura 6.5 Calor ganado por la olla.....	58
Figura 6.6 Calor ganado base de la olla	60
Figura 6.7 Pérdidas por convección	63
Figura 6.8 Pérdidas por radiación	64
Figura 6.9 Pérdidas en el aire	66

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 4.1 Presión de 2 Psi.....	35
Foto 4.2 Presión de 1 Psi.....	37
Foto 4.3 Caudal Bajo	39
Foto 4.4 Caudal alto a P= 0,5 Psi	40
Foto 6.1 Calentamiento de agua.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Propiedades del GLP a 15.06 °C	10
Tabla 2.2 Optimización de Aire y C02 y sus consecuencias	17
Tabla 2.3 Emisividad de algunos materiales.....	19
Tabla 3.1 Cuadro de pruebas de quemadores.....	25
Tabla 3.2 Operacionalización de la variable independiente.....	26
Tabla 3.3 Operacionalización de la variable dependiente.....	27
Tabla 4.1 Datos obtenidos a una presión de 2 Psi.....	34
Tabla 4.2 Datos obtenidos a una presión de 1 Psi.....	36
Tabla 4.3 Datos obtenidos con caudal bajo a una P=0,5 Psi.....	38
Tabla 4.4 Datos obtenidos con caudal Alto a P= 0,5 Psi	39

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESTUDIO DE PARÁMETROS DE COMBUSTIÓN EN QUEMADORES A GAS DE USO DOMÉSTICO APLICANDO TERMOGRAFÍA Y SU INCIDENCIA EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación se refiere al estudio de los parámetros de combustión en quemadores de GLP de uso doméstico, específicamente presión y caudal sobre la eficiencia energética aplicando termografía para utilizarlos en procesos útiles.

El principal objetivo de nuestra investigación es analizar el efecto que provoca tanto la presión y caudal de GLP, en relación con la eficiencia energética aplicando técnicas termográficas para mediante espectros visualizar una correcta área de trabajo. La investigación que comprende este proyecto es de nivel experimental y de tipo exploratorio; dentro de la misma se realizaron ensayos experimentales de variación de presión de GLP y variación de caudal de alimentación de GLP. Los datos recopilados se encuentran en tablas y están representadas gráficamente con puntos de dispersión entre todos los parámetros de estudio, a presiones de combustible de 1, 2, y 0,5 Psi donde se verifica en las imágenes termográficas que al tener mayor presión la llama se distorsiona provocando una caída de energía térmica. Finalmente en la propuesta se realizó el balance energético y tener un dato analítico de la eficiencia del sistema en conclusión se pudo verificar que el estudio termográfico realizado en el quemador de GLP disminuye tiempo y dinero, además se aprendió como realizar un análisis termográfico que es de vital importancia ya que son técnicas nuevas que se utilizan actualmente en la empresas para disminuir tiempos muertos

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 TEMA

ESTUDIO DE PARÁMETROS DE COMBUSTIÓN EN QUEMADORES A GAS DE USO DOMÉSTICO APLICANDO TERMOGRAFÍA Y SU INCIDENCIA EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. CONTEXTUALIZACIÓN

El panorama energético nacional e internacional en los años recientes está afrontando un gran desafío debido a las restricciones ambientales en la utilización de los combustibles fósiles y a las constantes alzas en los precios de los derivados del petróleo.

Consecuentemente, el uso del gas natural como combustible limpio y con precios competitivos ha venido aumentando en los sectores industrial, comercial, doméstico y vehicular. Entonces los parámetros que intervienen en el proceso de combustión de GLP, cumple una gran función porque depende de ellos lograr la energía requerida para realizar un trabajo, uno de ellos se lo hace mediante la regulación de caudal y presión que permite reducir y controlar la presión de flujo del gas en un sistema de tubería, hasta una presión específica y caudal requerido para el suministro. La regulación puede efectuarse en una o varias etapas.

Ante tal panorama, el pleno conocimiento sobre el fenómeno de combustión del gas natural, y en particular, en quemadores de gas, constituye una herramienta

fundamental para el perfeccionamiento de la explotación y el diseño de los mismos, bajo criterios ambientales, técnicos, legales y económicos.

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO

En la mayoría de los procesos de combustión en quemadores domésticos, la energía consumida en este proceso es mayor a la energía requerida para realizar un trabajo requerido , teniendo pérdidas considerables en el sistema por uso inadecuado de la energía térmica, esto puede ser por varias razones, como la mala utilización de los parámetros que intervienen en el proceso de combustión como es el flujo y presión de GLP ,diseño inadecuado del sistema de combustión , equipos obsoletos, falta de mantenimiento en los equipos, sobredimensionamiento del sistema, mala selección de equipos, entre otros.

1.2.3 PROGNOSIS

De no realizarse el estudio de este proyecto planteado se tendría un total desconocimiento de los parámetros de combustión de un quemador doméstico de GLP, lo cual es muy importante ya que la mayoría de hogares cuentan con una cocina de uso doméstico para la preparación de alimentos, la falta de información genera una mala utilización estos parámetros que actúan en el sistema de calentamiento de preparación de alimentos ocasionando una pérdida de energía de un recurso no renovable, que terminaría con perdidas tanto en equipos, materiales y dinero.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los parámetros en el proceso de combustión de quemadores de GLP de uso domésticos que inciden en la eficiencia energética?

1.2.5 INTERROGANTES

¿Qué influencia tiene la presión de GLP en el proceso de combustión de un quemador doméstico?

¿Qué influencia tiene el caudal de GLP en el proceso de combustión de un quemador doméstico?

1.2.6 DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN

1.2.6.1 DE CONTENIDO

Las asignaturas que se tomaron en cuenta son:

- Termodinámica
- Transferencia de calor
- Energías Alternativas
- Sistemas térmicos

1.2.6.2 ESPACIAL

La investigación en la parte experimental se realizó en los laboratorios de Energía de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, y en un domicilio que cuente con una cocina de uso doméstico, y la recolección bibliográfica en la biblioteca de la FICM, ubicados en la Provincia del Tungurahua.

1.2.6.3 TEMPORAL

La presente investigación se llevara a cabo en el periodo comprendido entre los meses de Julio 2014 a Febrero 2015.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Mediante el estudio de los parámetros de la combustión en quemadores a gas de uso doméstico, utilizando técnicas termográficas se podrá analizar, seleccionar y determinar cuál influye de manera notable en la eficiencia energética en el proceso de combustión, optimizando así la cantidad de energía requerida por unidad de trabajo, teniendo una reducción en los costos ya que se consumirá menos combustible y se reducirá la cantidad de gases contaminantes emitidos al ambiente, contribuyendo de esta manera a la conservación del medio ambiente.

Además con la utilización de técnicas termográficas nos permite obtener imágenes de las radiaciones de calor y ondas infrarrojas que emiten los cuerpos. Es un método no destructivo de detección, predicción, evaluación y control de fallos.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar los parámetros de combustión en quemadores de GLP de uso domésticos y su incidencia en la eficiencia energética.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la temperatura de flama de un quemador doméstico por la variación de presión de GLP mediante un análisis termográfico.
- Determinar la temperatura de flama de un quemador doméstico por la variación del caudal de GLP mediante un análisis termográfico.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Se ha investigado alguna referencia sobre el tema de trabajo de investigación en los proyectos y tesis de la FICM de la Universidad Técnica de Ambato, pero no se ha encontrado ninguna; por lo tanto, se ha ampliado la investigación a otras universidades del país encontrando la siguiente tesis.

Según la tesis *Adaptación De Un Quemador Para Cocinas A Gas En La Empresa Mabe Ecuador*, en su investigación llega a las siguientes conclusiones.

- Se incrementó la productividad de estos modelos de cocinas en 2.500 cocinas al mes de fabricadas con el quemador importado a 15.00 cocinas mensuales fabricadas actualmente con el quemador nacionalizado.
- La modificación en la forma de cabeza del quemador permitió que este cumpla con los parámetros establecidos por las normas técnicas, es decir ($CO < 800$ ppm y su eficiencia mayor a 48%). Para que el quemador cumpla con los valores de combustión debe utilizarse la parrilla #1.
- La distancia entre portas debe ser siempre mayor a 2 mm y menos a 5mm.
- Se recomienda utilizar un inyector mayor o igual al obtenido teóricamente. La mayoría de los proveedores de estas piezas venden sus productos en medidas definidas de antemano, deberá entonces seleccionar el diámetro de espera inmediato superior teórico.

- Se recomienda además modificar la distancia real entre la esprea y la garganta Venturi a la medida teórica determinada en la tesis, ya sea modificado el cuerpo de la válvula o el estampado del tubo del quemador de esta forma se mejorara la calidad de la combustión reduciendo las partes por millón de CO y la posibilidad de aparición de puntas amarillas en la llama del quemador.
- Finalmente se recomienda que, para el desarrollo de nuevas piezas o las ya existentes; y que se importan desde el exterior se considera siempre la opción de la nacionalización. Puesto que, como sea demostrado en esta tesis, esto favorece a la productividad de la planta, genera ahorros económicos en el producto y puede beneficiar a terceras empresas al convertirse en proveedores locales de tales piezas (Guerrero, 2002).

Otra tesis que nos sirvió como ayuda para la investigación de nuestro proyecto fue el Estudio Técnico-Comparativo Para La Introducción De Cocinas Eléctricas De Inducción Magnética En El Ecuador llegando a las siguientes conclusiones.

- Con el estudio realizado se ha logrado cumplir con el objetivo principal del presente proyecto de titulación, que es efectuar la comparación técnica de los tres tipos de cocinas y se determinó que la cocina de inducción presenta más ventajas que las otras dos cocinas estudiadas.
- Si bien es cierto que la tecnología de las cocinas de inducción es más avanzada que la tecnología de las cocinas de resistencia y las cocinas a gas, en el país se tiene la tecnología necesaria para construir este tipo de cocinas, como se demostró al construir el prototipo. Actualmente se debe importar la mayoría de componentes electrónicos.
- De los tres tipos de cocinas analizadas, la cocina de inducción magnética es la más eficiente ya que la olla funciona como elemento generador de calor y no simplemente conduce el calor desde la fuente hacia el alimento, como en los otros dos tipos de cocinas analizadas.

- Con la introducción masiva de cocinas de inducción magnética se podrá focalizar de mejor manera el subsidio a la energía destinada para la cocción, ya que es más fácil controlar la distribución de energía eléctrica, que controlar la mala utilización y contrabando del GLP subsidiado por el estado.
- La cocina a gas se ve afectada notablemente en su potencia nominal (14.5%) a niveles de presión y temperatura de Quito, es por esto que se recomienda realizar pruebas de éste tipo de cocinas en ciudades que estén a nivel del mar para determinar su eficiencia en condiciones de potencia nominal.
- Se recomienda realizar un análisis de las condiciones de las instalaciones eléctricas de las casas donde se vayan a utilizar las cocinas de inducción, ya que el amperaje que consumen puede sobrecargar dichas instalaciones y causar problemas como activación de breakers o sobrecalentamiento de los cables y posibles incendios (Guerrero, 2002).

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

En el proyecto de investigación predominó el paradigma crítico propositivo, pues el estudio que se pretende realizar determinará los parámetros en la combustión de quemadores de GLP de uso doméstico para incidir en su eficiencia energética aplicando técnicas termográficas.

Para la realización de la investigación se tomó en cuenta la variación o regulación de los parámetros en el proceso de combustión, con relación las pérdidas de energía en el proceso de transferencia de calor.

Estos resultados son de carácter crítico pues se busca establecer un rango en el que no varíen en gran medida los parámetros establecidos en el proceso de combustión para quemadores de GLP verificando en un análisis termográfico cual influye en mayor parte en la eficiencia del sistema colaborando así con la conservación de un recurso no renovable.

2.3 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

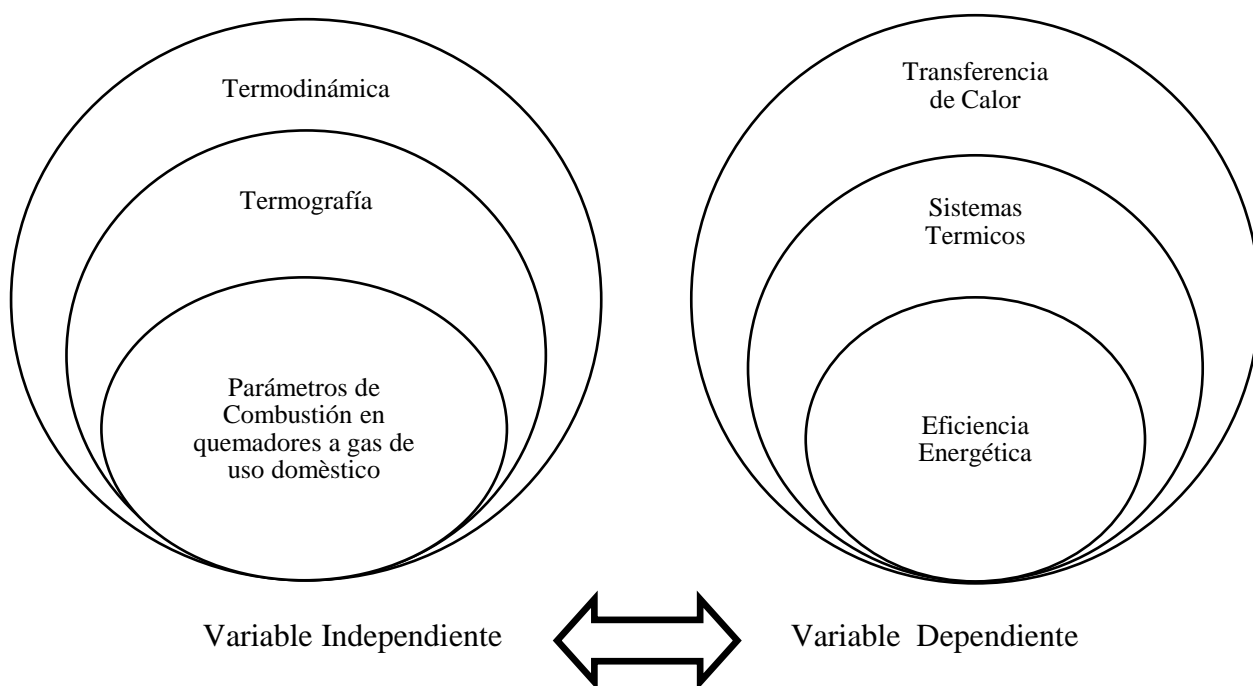


Figura 2.1 Red de categorías fundamentales

Fuente: Diego Núñez

2.3.1 INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética en los quemadores domésticos implica un menor consumo de combustible por unidad térmica producida, lo cual reduce el costo de consumo de combustible y también reducción en la emisión de gases contaminantes al ambiente.

Este trabajo tratara de técnicas de eficiencia energética en la combustión con quemadores domésticos e industriales a gas, analizando los parámetros de control de la combustión en los quemadores. El quemador contribuye con aire y combustible y los mezcla en la forma adecuada para tener una correcta combustión.

La relación de aire y combustible es uno de los parámetros más importantes para obtener una buena eficiencia en la combustión, dado a que en la mayoría de los casos, no se logra obtener una mezcla perfecta entre aire y combustible es por esta razón que se debe exceder un porcentaje de oxígeno en el proceso para poder obtener una combustión completa.

Pero añadir un porcentaje inadecuado puede afectar negativamente en la eficiencia del quemador, por lo que se debe determinar la cantidad adecuada de exceso de aire para que mantenga un buen desempeño en el proceso. Esta relación depende del tipo del quemador, propiedades de los flujos y otros.

2.3.2 GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)

El término Gas Licuado de Petróleo corresponde a aquellos hidrocarburos cuyos principales componentes son propano y butano, además de isobutano, butileno o a mezclas de ellos en pequeñas cantidades. La alta concentración de calor generado por la llama, la uniformidad y precisión de la regulación de la temperatura y la posibilidad de suministrarlo en combinaciones formuladas especialmente para los diversos tipos de uso, hacen del Gas Licuado de Petróleo un producto versátil para la industria. Gracias a la facilidad de almacenaje, transporte y distribución, el Gas Licuado de Petróleo es el combustible que llega también a las áreas más alejadas y de difícil acceso para otras fuentes de energía. 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 (Núñez, 2010).

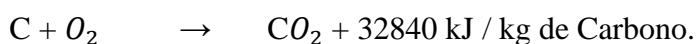
Tabla 2.1 Propiedades del GLP a 15.06 °C

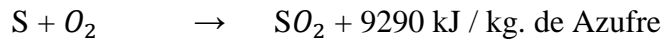
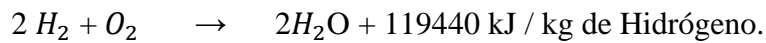
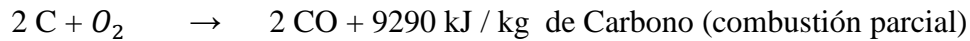
Fuente: (Núñez, 2010)

	PROPANO	BUTANO	MEZCLA
Fórmula	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	
Punto inicial de ebullición (°C)	-42	-1	-42
Gravedad específica del líquido (kg/litro)	0,504	0,582	0,519
Peso por metro cúbico de líquido (Kg.)	504	582	519
Calor específico del líquido (kj/kg)	1,464	1,276	1,426
Metros cúbicos de vapor por litro	0,271	0,235	0,264
Metros cúbicos de vapor por kilogramo	0,539	0,410	0,513
Gravedad específica de vapor (aire = 1,0)	1,50	2,01	1,60
Temperatura de ignición en aire	439-549	482-538	482-519
Temperatura máxima de llama en aire °C	1980	2008	2000
Límites de flamabilidad en aire, % de vapor en mezcla de gas -aire			
a) Bajo	2,15	1,55	1,55
b) Alto	9,60	8,60	9,60
Calor latente de vaporización en el punto de ebullición (kj/kg)	428	388	426

2.3.3 COMBUSTIÓN

La combustión consiste en una reacción química de oxidación en la unos elementos combustibles, principalmente carbono (C), hidrógeno (H), y azufre (S), se combinan con oxígeno. La reacción se verifica con un gran desprendimiento de energía, en forma de calor y luminosidad. A continuación se presentan las reacciones principales que se producen en el quemado de un combustible, apareciendo reflejados reactantes y productos, además del calor desprendido en la misma.





Como se indica los productos principales de la combustión son el dióxido de carbono (CO_2) y el agua (H_2O) (Mavainsa, 1994).

2.3.4 MECANISMO DE LA COMBUSTIÓN

El mecanismo de combustión varía según el tipo de combustible que se desee combustionar.

Así podremos distinguir entre combustión homogénea en la que el combustible a quemar es gaseoso, y combustión heterogénea en el caso de combustibles sólidos y líquidos.

En la combustión homogénea, la reacción química comienza tan pronto como la mezcla de combustible y aire tiene lugar. La mezcla del combustible con el aire se produce a consecuencia de la turbulencia que se induce en la corriente aire/gas a la salida del quemador y las diferencias de densidad entre la llama y los alrededores.

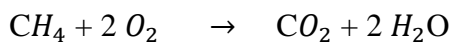
La combustión heterogénea necesita un mayor tiempo de ignición, requiriendo el combustible líquido una atomización previa a la combustión (Mavainsa, 1994).

2.3.5 AIRE DE COMBUSTIÓN

El Oxígeno necesario para la combustión, normalmente, es suministrado a través de una corriente de aire.

Para conseguir la combustión completa del combustible tenemos que garantizar que existe el suficiente oxígeno para ello. Para conocer la cantidad de oxígeno necesario recurriremos a estudiar la estequiometría de las reacciones de combustión.

Por ejemplo, la reacción química que se produce en la combustión de un hidrocarburo simple como el metano se puede expresar como:



En la ecuación vemos que para quemar un mol de metano es necesario suministrar 2 moles de O_2 , o lo que es lo mismo para quemar un metro cúbico normal de metano necesitaremos dos metros cúbicos normales de Oxígeno.

A efectos prácticos consideraremos el aire compuesto, en volumen, por un 21% de Oxígeno y un 79 % de Nitrógeno (gas inerte que no contribuye a la combustión). Por ello el volumen de aire a aportar al sistema es aproximadamente cinco veces el volumen de Oxígeno necesario.

Una operación de combustión como ésta se llamaría completa y perfecta. La operación sería completa porque todo el carbono se habría convertido en dióxido de carbono (CO_2) y todo el hidrógeno en agua (H_2O). También sería perfecta por haber cantidad suficiente de oxígeno para quemar todo el carbono y el hidrógeno sin que quedase oxígeno o aire (Mavainsa, 1994).

3.3.6 FACTORES DE LOS QUE DEPENDE UNA CORRECTA COMBUSTIÓN

En la práctica no nos interesará tener una combustión perfecta, sino tener la máxima eficiencia de la combustión posible.

En cualquier proceso de combustión se debe presentar atención a los siguientes tres puntos:

1. Hay que preparar el combustible para su combustión; si es líquido hay que atomizarlo previamente.
2. Hay que asociar el combustible y el aire en las proporciones adecuadas, en el momento y a la temperatura correcta para el encendido y la combustión.
3. Se debe procurar mantener una cantidad suficiente de calor en la zona de combustión, con el objeto de mantener una temperatura en el hogar que me permita una adecuada vaporización del combustible.

Los quemadores de gas domésticos sólo necesitan establecer la proporción de los volúmenes de aire y gas, y asegurar su íntima mezcla. Pero los quemadores de fuel-oil tienen que preparar el combustible fragmentándolo en pequeñas partículas para dejar expuesta la máxima superficie posible a fin de que el calor del horno lo convierta rápidamente en vapor.

Las operaciones de mezcla, encendido y combustión se producen en el pequeño intervalo de tiempo que emplean el combustible y el aire en trasladarse desde el quemador hasta la entrada a la chimenea. Este intervalo de tiempo depende de la distancia recorrida y de la velocidad y grado de turbulencia.

La turbulencia describe aquella condición en que el combustible y el aire giran en remolinos siguiendo vías irregulares desde el quemador hasta la entrada de la chimenea.

Es deseable una corriente turbulenta, porque la distancia total que recorre el vapor aumenta al seguir un camino irregular, con lo cual aumenta el tiempo disponible para la combustión.

Hemos resumido la combustión como dependiente de “tres T”: tiempo, temperatura y turbulencia (Mavainsa, 1994).

2.3.7 TIPOS DE LLAMAS

Llama de Premezcla: Una llama se considera premezclada cuando la mezcla de combustible y comburente se realiza antes de la boquilla del quemador. La cantidad de aire suele ser menor que la estequiométrica y el aire faltante proviene del ambiente que rodea la llama, denominado aire secundario.

Llama de Difusión: Una llama es de tipo difusión cuando la mezcla del combustible y el comburente se realiza en el exterior del quemador. El gas sale por la boquilla del quemador y el oxígeno para la combustión proviene del aire circundante. Esta llama es más luminosa que la de premezcla y su luminosidad proviene de las partículas de hollín incandescentes (MetroGas, 2013).

2.3.8 TEMPERATURA TEÓRICA DE COMBUSTIÓN

Es aquella que alcanzarían los productos de la combustión si todo el calor de la reacción fuese empleado en su calentamiento. Dado que siempre existen pérdidas de calor, en la práctica esta temperatura no se alcanza (MetroGas, 2013).

2.3.9 TEMPERATURA TEÓRICA DE COMBUSTIÓN

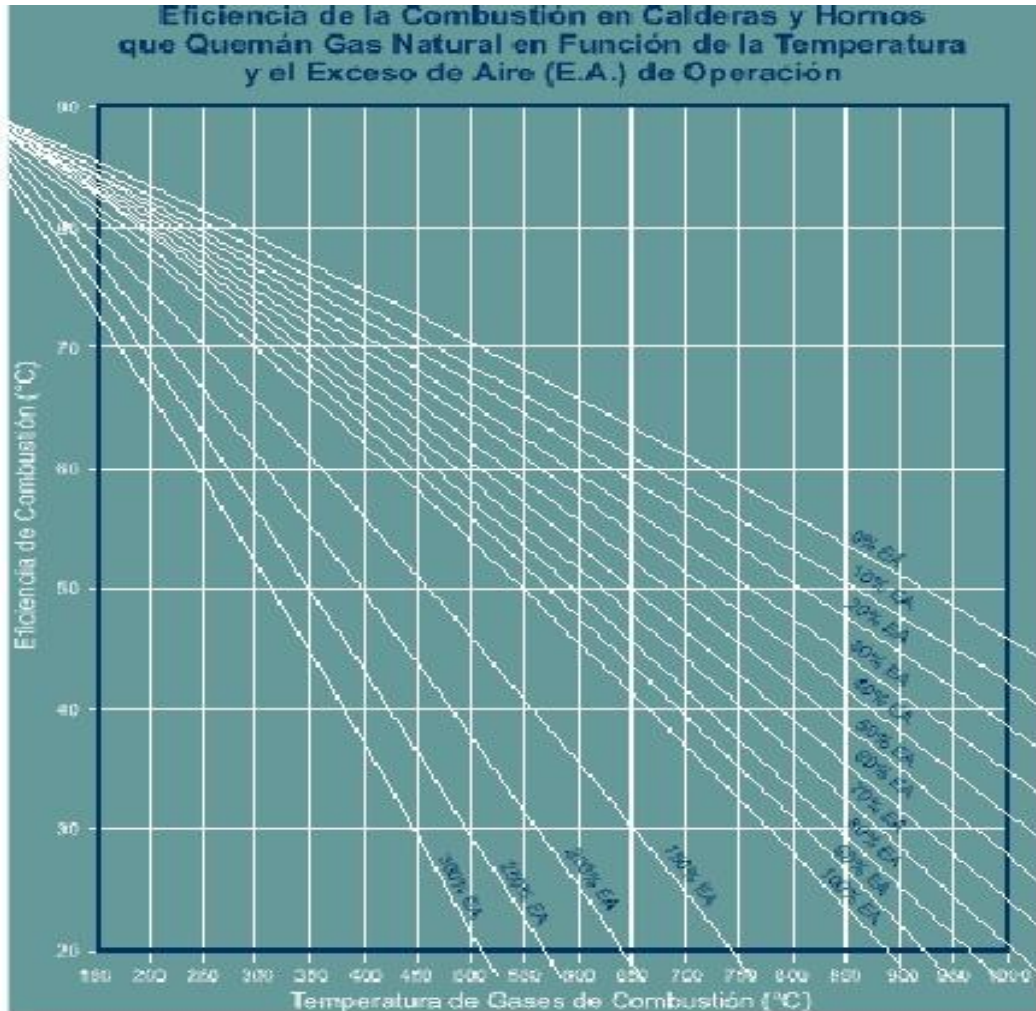
Se define como eficiencia de la combustión al cociente entre el Calor Útil Entregado y el Calor Total Entregado por el combustible, es decir:

$$\begin{aligned} \text{Eficiencia Combustion} &= \frac{\text{Calor útil}}{\text{Calor entregado por el combustible}} = \frac{\text{Calor entregado} - \text{Perdidas}}{\text{Calor entregado}} \\ &= 1 - \frac{\text{Perdidas}}{\text{Calor entregado}} \end{aligned}$$

Las pérdidas 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 decrece al aumentar la temperatura de los gases de escape y al aumentar el exceso de aire como se muestra a continuación en el gráfico (MetroGas, 2013).

Figura 2.1 Eficiencia de la combustión en calderas y hornos a gas natural

Fuente: (MetroGas, 2013)



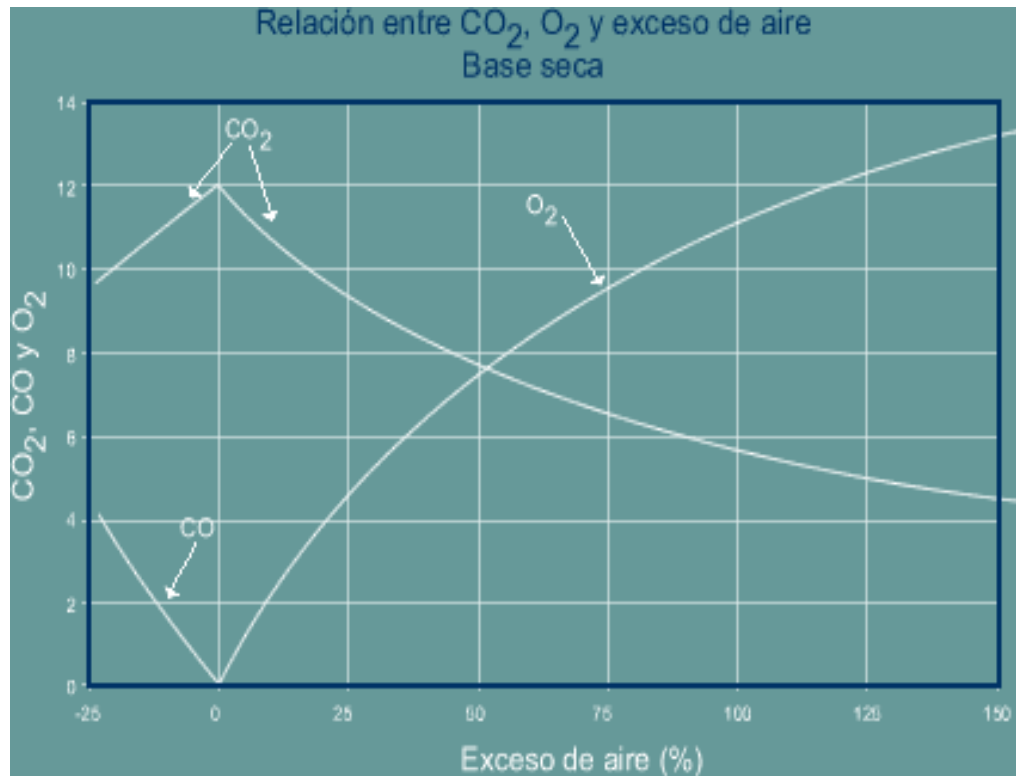
A modo de ejemplo explicativo en la figura 2.1, si consideramos un 200% de exceso de aire y 400 °C de temperatura de combustión se tiene una eficiencia de 50% (punto B), para la misma temperatura y considerando un exceso de aire del 40% la eficiencia aumenta al 70% (punto A).

El exceso de aire usualmente se calcula a partir del porcentaje de oxígeno existente en los gases de combustión. En el siguiente gráfico se muestra la relación entre el exceso de aire y los porcentajes de O₂ y CO₂ en los gases de

combustión. Por ejemplo, el punto D del gráfico significa que para un 6% de O_2 el exceso de aire correspondiente es 38% (MetroGas, 2013).

Figura 2.2 Relación entre CO_2 , O_2 y exceso de aire

Fuente: (MetroGas, 2013)



2.3.10 OPTIMIZACIÓN DEL EXCESO DE AIRE

El objetivo de la tabla 2.2 según es entregar una herramienta para optimizar el exceso de aire con el fin de obtener el máximo ahorro de combustible. Sin embargo, deben considerarse otros factores tales como: los instrumentos disponibles, la disminución de la resonancia, la compatibilidad con el proceso y los materiales usados en la construcción de los equipos.

Tabla 2.2 Optimización de Aire y CO₂ y sus consecuencias

Fuente: (MetroGas, 2013)

Tipo de Aplicación	% Exceso de Aire(a)	% CO (b)	Observaciones
Calderas de Vapor: Igneotubulares, Acuatubulares y de Agua Caliente	10-30%		La resonancia puede ser un problema.
Hornos muflas	5-25%		
Hornos para fundición de cobre, hierro y sus aleaciones		<1%	Generalmente necesitan atmósfera reductora.
Hornos para fundición de Aluminio	<20		Generalmente atmósfera oxidante.
Horno de crisol para metales		0-1%	Generalmente necesitan atmósfera reductora.
Hornos de crisol para materiales cerámicos	10-25%		
Generadores Exotérmicos (c)		0,5%-3%	La combustión rica produce un gas reductor que inhibe la oxidación.
Hornos a fuego directo, sin recirculación	20-100%		Depende del tipo de proceso.
Hornos a fuego directo, con recirculación	> 250%		Si hay solventes en el horno, pueden requerirse valores aún más altos.
Hornos a fuego indirecto y Calentadores	10-30%		

Tubos de inmersión y radiación	15-50%		El objetivo es obtener una distribución del calor uniforme a lo largo del tubo.
--------------------------------	--------	--	---

a- Los niveles de exceso de aire corresponden a quemadores de premezcla y de mezcla en boquilla.

b- Se debe considerar mecanismos para quemar el CO en la chimenea. Cabe señalar que próximamente se establecerán normas de emisión de este contaminante.

c- Muestreado en horno (MetroGas, 2013).

2.3.11 TERMOGRAFÍA

Proceso de toma de una imagen usando una tecnología de medición que visualiza la radiación de calor o la distribución de temperatura de la superficie de los objetos mediante una cámara termográfica (TESTO AG, 2008).

2.3.12 CÁMARA TERMOGRÁFICA

Es una cámara que mide la radiación infrarroja y convierte la señal en una imagen térmica. Con la cámara se pueden ver en las superficies de los objetos distribuciones de temperatura que no puede percibir el ojo humano. Las aplicaciones más habituales de una cámara termográfica se dan en los sectores de la construcción, la industria y la electricidad (TESTO AG, 2008).

2.3.13 EMISIVIDAD

La emisividad de una superficie representa la razón entre la radiación emitida por la superficie a una temperatura dada y la radiación emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura (Cengel Y. , 2004).

Tabla 2.3 Emisividad de algunos materiales.

Fuente: (Típan, 2011)

Material	Emisividad*
Aluminio, pulido	0.05
Ladrillo, común	0.85
Ladrillo, refractario, basto	0.95
Hierro fundido, fundición esbozada	0.81
Hormigón	0.54
Cobre, pulido	0.01
Cobre, negro oxidado	0.88
Cinta aislante, plástico negro	0.95
Vidrio	0.92
Barniz, Bakelite	0.93
Pintura, sintética normal	0.94
Papel, negro, mate	0.94
Porcelana, vidriada	0.92
Goma	0.93
Acero, galvanizado	0.28
Acero, muy oxidado	0.88
Papel de alquitrán	0.92
Agua	0.98

2.3.14 QUEMADORES

Los quemadores son los equipos donde se realiza la combustión, por tanto deben contener los tres vértices del triángulo de combustión, es decir que deben lograr la mezcla íntima del combustible con el aire y además proporcionar la energía de activación.

En esta investigación se describen los quemadores para combustibles líquidos y gaseosos, ya que los combustibles sólidos se queman sobre parrilla, o requieren un tratamiento previo del combustible, unido a quemadores de diseños especiales (García, 2001).

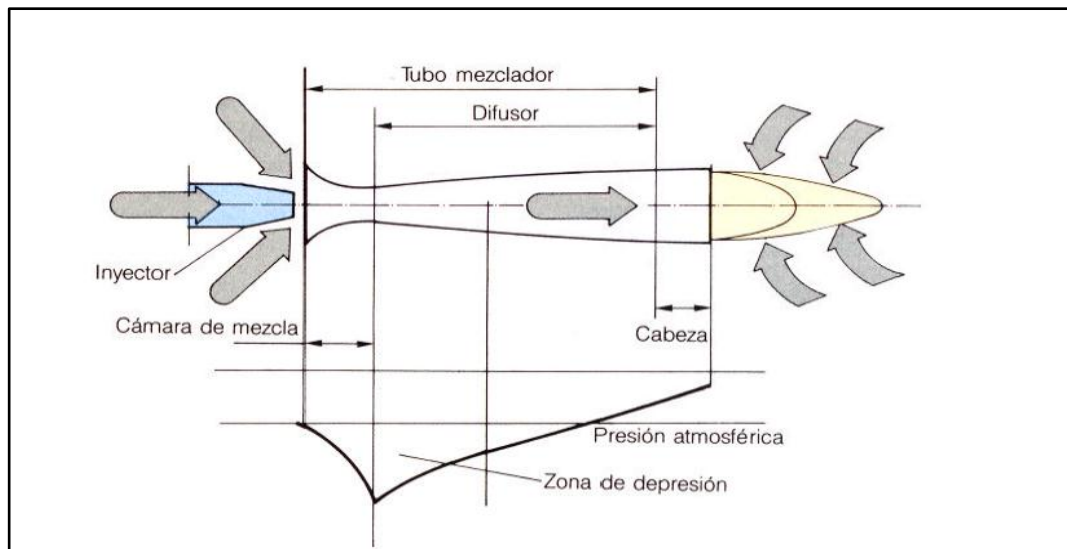
2.3.15 QUEMADORES ATMOSFÉRICO

Únicamente se emplean para combustibles gaseosos; una parte del aire necesario para la combustión (aire primario) se induce en el propio quemador por el efecto Venturi; el aire restante, aire secundario se obtiene por difusión del aire ambiente alrededor de la llama. En este tipo de quemadores se tiene una combustión con alto índice de exceso de aire.

La ventaja principal de este sistema es su simplicidad y costo bajo. Se pueden fabricar para potencias unitarias altas (1.200 kW), los empleados habitualmente en climatización no superan los 300 kW (García, 2001).

Figura 2.2 Quemador atmosférico de cocina domestica

Fuente:(García, 2001)



2.4 HIPÓTESIS

La aplicación de técnicas termográficas permitirá evaluar la eficiencia energética en quemadores de uso doméstico mediante la variación de parámetros como el caudal y la presión de GLP.

2.5 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

V.I.: Parámetros de combustión

V.D.: Eficiencia Energética

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 MODALIDAD BÁSICA DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto de investigación se realizó bajo una modalidad de nivel de campo exploratoria-científica; de campo porque se tuvo que realizar prácticas en diferentes puntos específicos para poder tener medidas que vayan de acuerdo a nuestra investigación, tipo exploratoria porque se basó en técnicas nuevas porque no existía mayor información acerca de la utilización de técnicas termográficas utilizadas en los parámetros de combustión de quemadores de GLP que influye en la eficiencia energética, y científica porque se tuvo que recurrir a información documentada por diferentes estudios que se han realizado termográficamente a sistemas que de acuerdo dicha modalidad toma contacto de forma directa con la realidad, obteniendo datos informativos para ser analizados e interpretados de acuerdo al objetivo del proyecto de investigación.

El nivel de modalidad de investigación documental-bibliográfica tuvo como objetivo principal detectar, analizar y profundizar las diferentes teorías, conceptualizaciones y criterios de distintos autores sobre la utilización de técnicas termográficas utilizadas para analizar la eficiencia del quemador domestico de GLP, guiándose en libros, documentales, videos, revistas, internet y estadísticas.

3.1.1 EXPERIMENTAL

En esta modalidad investigación se estudió las temperaturas dadas por la cámara termográfica FLIR E4 obtenidas de datos experimentales con la finalidad de controlar los fenómenos que se presenta en las imágenes termográficas.

Fundamentándose en la variación activa de los parámetros de combustión como son la presión y el caudal de GLP.

3.2 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para el presente proyecto de investigación nos referimos a los siguientes puntos:

3.2.1 NIVEL

- **DE CAMPO**

En el presente proyecto se utilizó el nivel de investigación de campo para la recopilación de datos necesarios obtenidos tanto en un quemador de GLP de uso doméstico para el estudio y su respectivo análisis para poder interpretar las imágenes termográficas obtenidas por la cámara FLIR E4.

- **EXPERIMENTAL**

Se realizó prácticas experimentales termográficas en el quemador de GLP de uso doméstico para observar el comportamiento de los parámetros de combustión, específicamente la presión y caudal.

- **BIBLIOGRÁFICA**

Se utilizaron fuentes bibliográficas tales como libros, videos, documentales, revistas, páginas WEB, las cuales proporcionaron una gran ayuda en el ámbito tecnológico, y científico; para el desarrollo de los datos investigativos obtenidos experimentalmente en las imágenes termográficas en los quemadores de GLP de uso doméstico.

3.2.2 TIPO

- **EXPLORATORIA**

Se realizó una investigación en libros y documentos para determinar los parámetros de influyen en el proceso de combustión de quemadores de GLP de uso doméstico y la manera en que se pueden variar estos parámetros para saber cómo afecta la eficiencia energética en el proceso, además la utilización de técnicas termográficas en estos sistemas.

- **DESCRIPTIVOS**

Se comparó los diferentes comportamientos, fenómenos y situaciones de los parámetros que intervienen en el proceso de combustión en quemadores de GLP domésticos mediante una imagen termográfica.

- **EXPLICATIVA**

Mediante cada una de las pruebas realizadas se comprobó la hipótesis planteada. Pues se analizó las imágenes termográficas para ver cuales parámetros tiene mayor influencia en la eficiencia energética del quemador doméstico.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 POBLACIÓN

El estudio se realizó a un quemador de GLP que sea exclusivamente de uso doméstico, analizando los parámetros que intervienen en el proceso de combustión, principalmente las variaciones en la presión y flujo de combustible para analizar mediante las imágenes termográficas el comportamiento de este respecto a la eficiencia energética.

3.3.2 MUESTRA

Corresponde a las diversas pruebas realizadas en el quemador de GLP con la cámara termográfica.

Para determinar la muestra se realizó varias mediciones en diferentes tiempos y horarios determinando que el medio más práctico para realizar nuestra investigación esta prueba fue a partir del mediodía debido a que ese momento la variación de la temperatura ambiente no varía de manera notable ya que influye mucho en las temperaturas obtenidas por la cámara termográfica para eso se realizó una tabla para la recopilación de datos.

Tabla 3.1 Cuadro de pruebas de quemadores

Fuente: Diego Núñez

CUADRO DE PRUEBAS DE QUEMADOR		
# PRUEBA	PRESION DE GLP (Psi)	CAUDAL
1	0.5	Alto
2		
3		
4		
5		
6	05	Bajo
7		
8		
9		
10		

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE: PARÁMETROS DE COMBUSTIÓN

Tabla 3.2 Operacionalización de la variable independiente

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS O DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS INSTRUMENTOS
Parámetros de Combustión.- son los componentes físicos, químicos y mecánicos que intervienen en el desarrollo del proceso de combustión de un combustible. Pudiendo ser estos la presión y el caudal.	Presión de Combustible	<ul style="list-style-type: none"> • Alto • Bajo 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor a 1 Psi • Menores a 1 Psi 	Lista de chequeo
	Caudal de Combustible	<ul style="list-style-type: none"> • Alto • Bajo 	<ul style="list-style-type: none"> • 100% • 50% 	Lista de chequeo

Fuente: Diego Núñez

3.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE: EFICIENCIA ENERGÉTICA

Tabla 3.3 Operacionalización de la variable dependiente

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS O DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS INSTRUMENTOS
<p>Eficiencia Energética.-es el consumo inteligente de la energía, utilizando al máximo la energía útil, mediante técnicas que ayudan a disminuir costos y contaminación.</p>	<p>Temperatura de flama</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Altas • Bajas 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor a 100°C • Menor a 100 °C 	<p>Lista de chequeo</p>

Fuente: Diego Núñez

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

En el proyecto de investigación para la recopilación de datos se aplicaron dos técnicas mediante observación directa y mediante instrumentos electrónicos en el Laboratorio De Energía de La Carrera de Ingeniería Mecánica de la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, para poder dar cumplimiento a los objetivos planteados en el proyecto, además de un buen desarrollo en el proceso de estudio.

Las prácticas que se realizaron fueron

- Variación de presión de 0,5 Psi con un caudal Alto y Bajo de GLP en el quemador de uso doméstico
- Variación de presión de 0.5, 1, Y 2 Psi con un caudal Bajo de GLP en el quemador de uso doméstico
- Determinar el consumo de gas en un quemador normal de GLP de uso domestico

Los instrumentos, equipos, herramientas que se necesitó para la práctica fueron:

- Cámara termográfica FLIR E4
- Soporte de cámara termográfica
- Manómetro de presión
- Regulador de presión
- Paso de caudal GLP
- Medidor de gas

- Ficha técnica
- Quemador de cocina doméstica

Los pasos para realizar la recopilación de datos en la práctica fueron:

1. Revisar el estado del quemador
2. Verificar las instalaciones desde el tanque de GLP hasta el quemador como son válvulas, reguladores, tuberías, mangueras etc.
3. Revisar la presión que tiene la alimentación de GLP
4. Mediante la manija regular el paso de GLP
5. Encender el quemador
6. Regular la presión requerida de GLP mediante el manipuleo de las válvulas reguladoras de presión.
7. Encender la cámara termográfica para una mejor medida se debe esperar 5 minutos
8. Tomar 5 fotografías termográficas por cada rango de presión durante 1 minutos
9. Apagar la cámara termográfica
10. Apagar el quemador
11. Cerrar válvulas de paso
12. Desconectar el tanque de GLP

Una vez realizado los procedimientos para la toma de datos se procedió a recolectar los datos como son el tiempo, la presión, temperatura, fotografía termográfica del quemador variando su caudal y presión de GLP.

Para determinar el consumo de gas que tiene un quemador de GLP de uso doméstico se procedió a realizar las siguientes actividades.

1. Primero se pesa el cilindro de gas de uso doméstico en modo vacío.
2. Se procedió a llenar con el combustible el cilindro de gas de uso doméstico.
3. Conectado el cilindro a una cocina de uso doméstico se dejó encendido los 5 quemadores de la cocina domestica durante una hora.
4. Una vez transcurrido la hora de tiempo que se estableció como tiempo a demostrar se procede a desconectar el cilindro de gas.
5. Finalmente nuevamente se procede a pesar el cilindro de gas para anotar el resultado.

3.6 PLAN DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

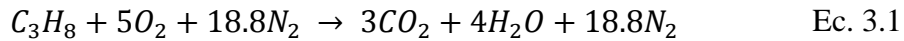
Mediante la información obtenida de los datos experimentales se procedió a realizar tablas de las medidas obtenidas, para ser interpretadas mediante graficas de dispersión haciendo un análisis matemático, además de analizar las imágenes de temperatura obtenidas por la cámara termográfica para analizar cada uno de los parámetros propuestos en la práctica y ver cuál de ellos tiene un mayor aporte en la eficiencia y desempeño en el quemador de uso doméstico.

Una vez obtenida las gráficas se verificó un óptimo desempeño del quemador con los cual se determinó:

- Temperatura puntual en la llama
- Temperatura máxima y mínima en la llama

Para la demostración de la hipótesis se procedió a realizar un balance energético utilizando el propano como combustible utilizando las siguientes ecuaciones.

Con la ecuación química para la combustión del propano con aire seco se calculó el número total de moles.



Luego se procedió a calcular el flujo másico de aire con la ecuación de la relación aire-combustible

$$Ac = \frac{\dot{m}}{\dot{m}_{comb}} \quad \text{Ec. 3.2}$$

Dónde:

$Ac = \text{Relación aire} - \text{combustible}$

$\dot{m} = \text{Flujo másico del aire} \left(\frac{kg}{h} \right)$

$\dot{m}_{comb} = \text{Flujo másico del combustible} \left(\frac{kg}{h} \right)$

Se procede a cálculo de la potencia del quemador en base a las entalpías de cada una de las temperaturas obtenidas.

$$Q = H_R - H_P \quad \text{Ec. 3.3}$$

Dónde:

$H_R = \text{Reactivos}$

$H_P = \text{Productos}$

Y finalmente cálculo de la eficiencia del quemador de uso doméstico de GLP

$$\eta_T = \frac{Q}{\dot{Q}_{entra}} \quad \text{Ec. 3.4}$$

Dónde:

$Q = \text{Potencia del quemador (kW)}$

$\eta_T = \text{Eficiencia}$

$\dot{Q}_{entra} = \text{Calor teórico de llama producido por el quemador (kW)}$

Para calcular \dot{Q}_{comb} . Se lo hace con la siguiente formula

$$\dot{Q}_{comb} = \dot{m}_{GLP} (P_{calo}) \quad \text{Ec. 3.5}$$

Dónde:

$\dot{Q}_{comb} = \text{Calor teórico de llama producido por el quemador (kW)}$

$\dot{m}_{GLP} = \text{Consumo de GLP} \left(\frac{kg}{h} \right)$

$P_{calo} = \text{Poder calorífico del GLP} \left(\frac{kcal}{kg} \right)$

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para poder realizar un análisis de los resultados, se tomaron 5 fotografías termográficas variando tanto la presión como el caudal durante cinco minutos en total se tomaron 20 fotografías en donde se pudo analizar puntualmente el comportamiento de la temperatura de la llama del quemador en un punto determinado.

4.1.1 ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE TEMPERATURA PUNTUAL VS PRESIÓN

A continuación se muestra las tablas, gráficas e imágenes termográficas de resultados obtenidos durante las pruebas realizadas en el quemador doméstico variando la presión y caudal, que nos permitirá visualizar las temperaturas puntuales del quemador de GLP de uso doméstico.

Cada una de las temperaturas puntuales tiene una escala en donde se puede determinar las temperaturas máximas y mínimas en la imagen termográfica además de encontrar los puntos fríos y calientes del sistema

a) PRUEBAS CON UNA PRESIÓN DE 2 Psi

Para una presión de 2 Psi y caudal bajo se obtuvo los siguientes datos de temperatura.

Tabla 4.1 Datos obtenidos a una presión de 2 Psi

Fuente: Diego Núñez

Fecha: 27 de Noviembre del 2014 Temperatura Ambiente: 20 °C Humedad relativa : 50% Temperatura reflejada : 25 °C			
Ensayo N°-	Tiempo (min)	Consumo GLP (dm3)	Temperatura puntual (°C)
1	1	57	155
2	2	58	177
3	3	59	194
4	4	60	211
5	5	61	219

Figura 4.1 Temperatura vs Tiempo de consumo a P= 2 Psi

Fuente: Diego Núñez

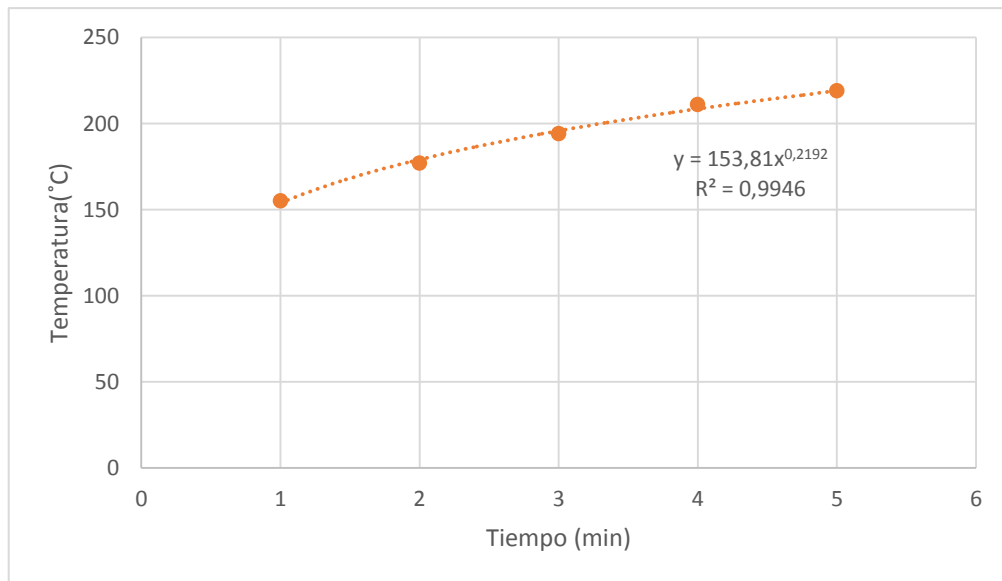
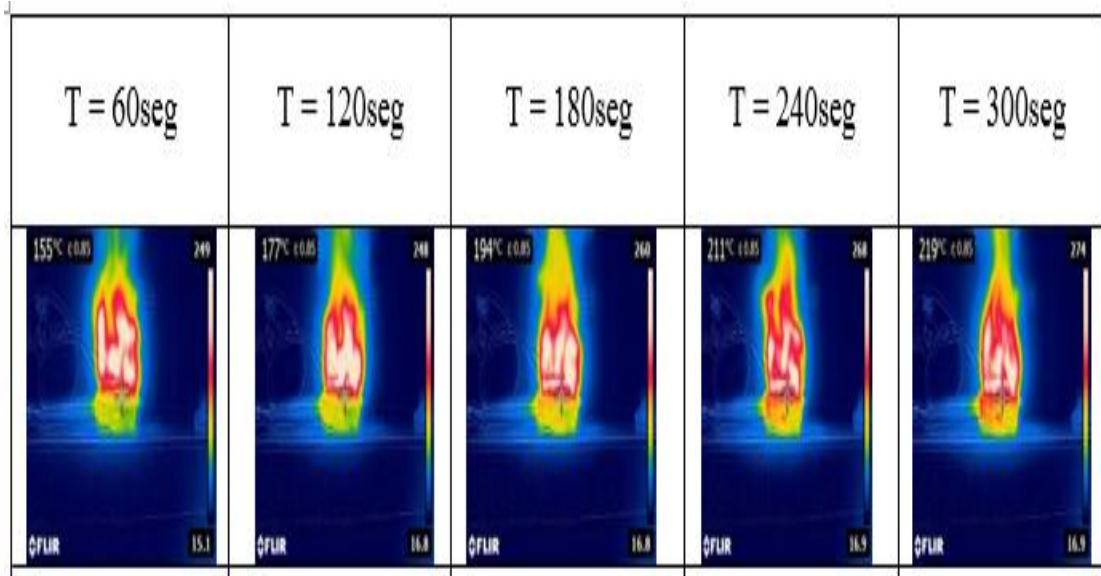


Foto 4.1 Presión de 2 Psi

Fuente: Cámara termográfica FLIR E4



Como se puede notar en la Foto 4.1 la temperatura obtenida a un minuto tiene una temperatura puntual de 155°C, Tmax=249 y una Tmin=15.1 pero analizando la imagen termográfica se puede observar una llama alta y existe una área donde empieza a distorsionarse debido al alta presión que ejerce el sistema, es conclusión se puede decir que existe un alto grado de temperatura en estas pruebas que se hicieron a una presión de 2 Psi y caudal bajo. Con esta presión fue imposible realizar pruebas con caudal alto ya que al momento que se quiso prender el quemador se apagó la llama de forma inmediata.

b) PRUEBAS CON UNA PRESIÓN DE 1 Psi

Para una presión de 1 Psi y caudal bajo se obtuvo los siguientes datos de temperatura

Tabla 4.2 Datos obtenidos a una presión de 1 Psi

Fuente: Diego Núñez

Fecha: 27 de Noviembre del 2014			
Temperatura Ambiente: 20 °C			
Humedad relativa : 50%			
Temperatura reflejada : 25 °C			
Ensayo N°-	Tiempo (min)	Consumo (dm3)	Temperatura puntual (°C)
1	1	46	98.4
2	2	48	119
3	3	50	139
4	4	52	164
5	5	54	182

Figura 4.2 Temperatura vs Tiempo de consumo a P= 1 Psi

Fuente: Diego Núñez

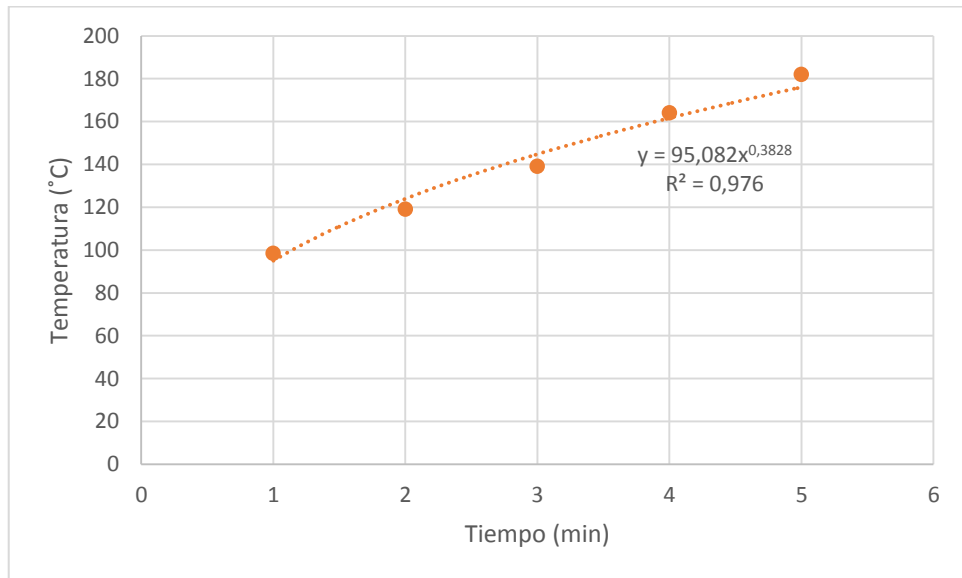
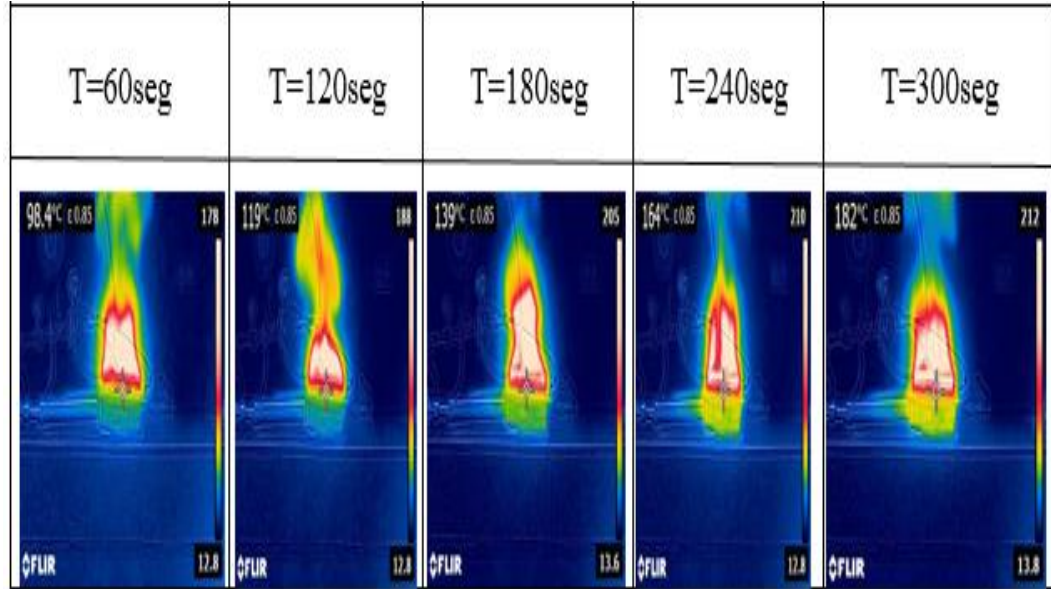


Foto 4.2 Presión de 1 Psi

Fuente: Cámara termográfica FLIR E4



De acuerdo a la Foto 4.2 la temperatura obtenida a un minuto tiene una temperatura puntual de 98.4°C, T_{max}=178 y una T_{min}=12.1 y a los 5 minutos se obtiene tiene una temperatura puntual de 182°C, T_{max}=212 y una T_{min}=13.1. Analizando las imágenes termográfica se puede observar que el área donde se origina la llama se encuentra menos distante del quemador debido a la disminución de presión que ejerce el sistema, es conclusión se puede decir que existe tiene un alto grado de temperatura pero no tiene todavía una correcta área de calor, estas pruebas se hicieron a una presión de 1 Psi y caudal bajo. Con esta presión también fue imposible realizar pruebas con caudal alto.

4.1.2 ANÁLISIS DE PRUEBAS MEDIANTE LA VARIACIÓN DEL CAUDAL

Para estas pruebas se pudo realizar con un caudal mínimo y alto a una presión de 0,5 Psi determinando los siguientes datos de temperaturas de acuerdo a las imágenes termográficas.

a) **PRUEBAS CON CAUDAL BAJO A UNA PRESIÓN DE 0,5 Psi**

Tabla 4.3 Datos obtenidos con caudal bajo a una P=0,5 Psi

Fuente: Diego Núñez

Fecha: 27 de Noviembre del 2014 Temperatura Ambiente: 20 °C Humedad relativa : 50% Temperatura reflejada : 25 °C Presión : 0.5 Psi	
Tiempo (min)	Temperatura puntual (°C)
1	87.1
2	119
3	136
4	186
5	216

Figura 4.3 Temperatura vs Tiempo a una P=0,5 Psi

Fuente: Diego Núñez

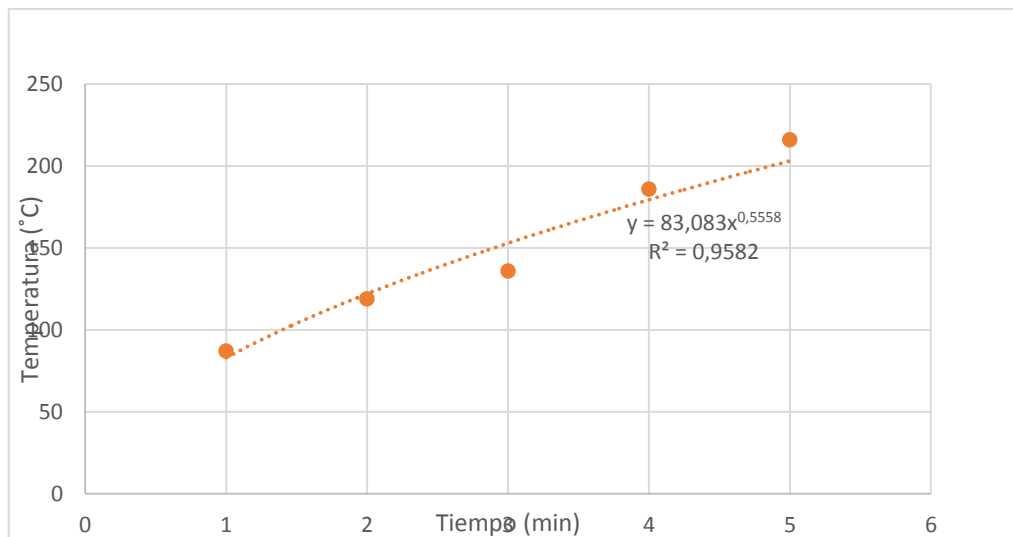
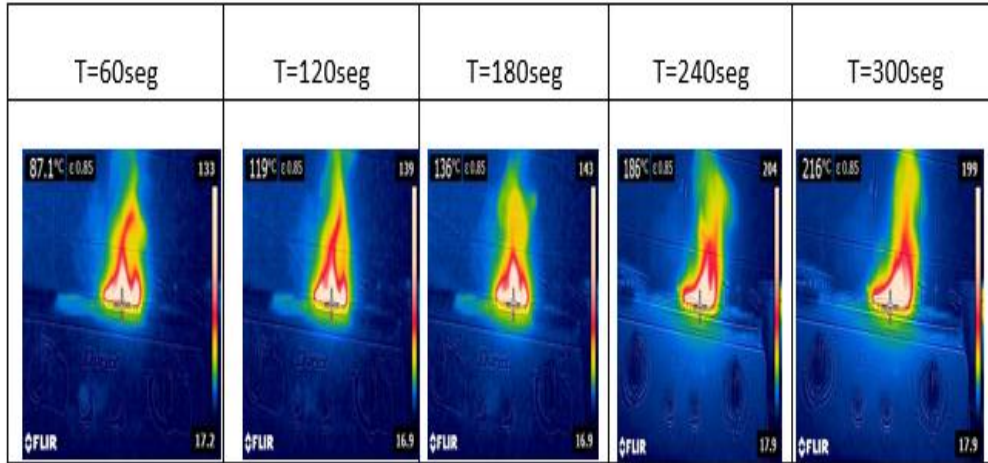


Foto 4.3 Caudal Bajo

Fuente: Cámara termográfica FLIR E4



b) PRUEBAS CON CAUDAL ALTO A UNA PRESIÓN DE 0,5 Psi

Tabla 4.4 Datos obtenidos con caudal Alto a P= 0,5 Psi

Fuente: Diego Núñez

Fecha: 27 de Noviembre del 2014	
Temperatura Ambiente: 20 °C	
Humedad relativa : 50%	
Temperatura reflejada : 25 °C	
Presión :0,5 Psi	
Tiempo (min)	Temperatura puntual (°C)
1	107
2	174
3	214
4	222
5	250

Figura 4.4 Temperatura vs tiempo del consumo a P=0,5 Psi

Fuente: Diego Núñez

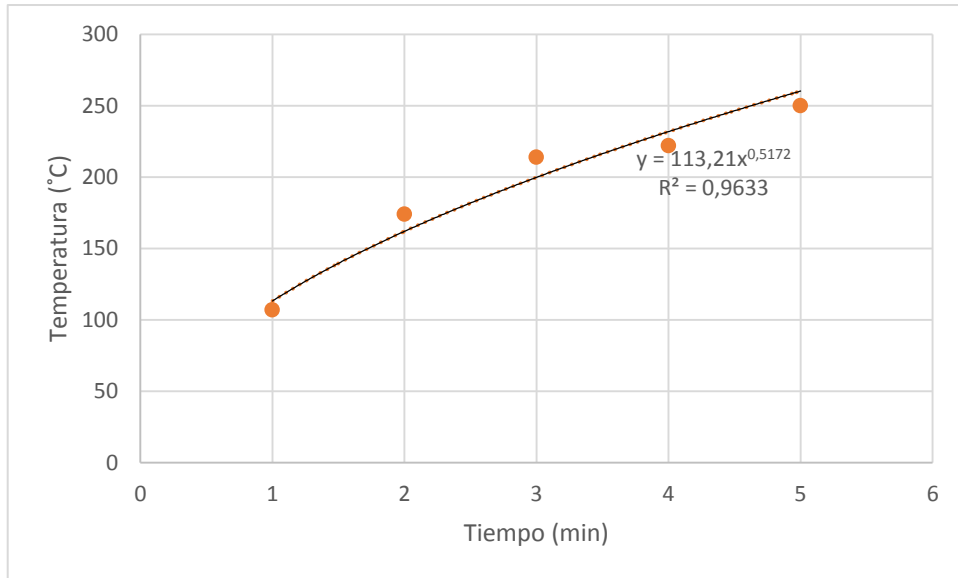
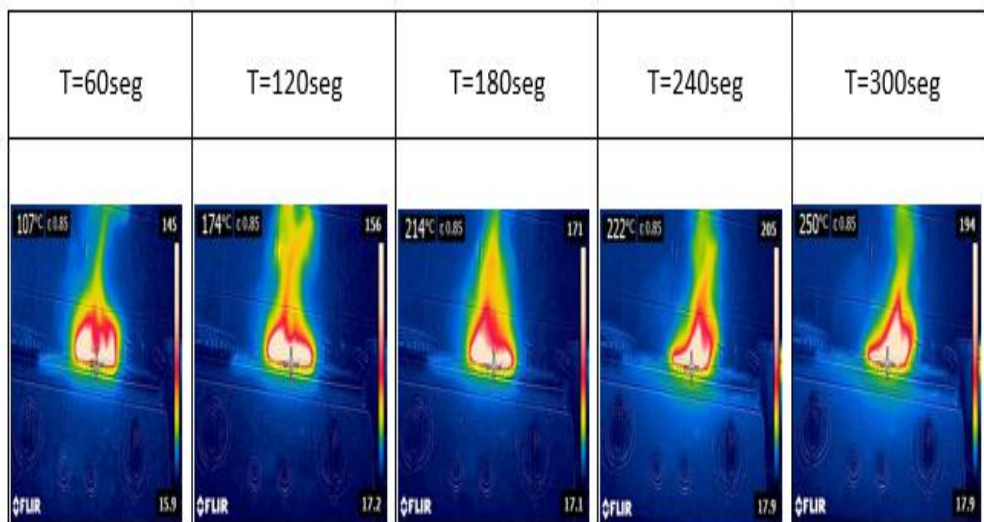


Foto 4.4 Caudal alto a P= 0,5 Psi

Fuente: Cámara termográfica FLIR E4



Como se puede observar en las imágenes termográficas a una presión de 0,5 Psi y un caudal bajo se obtiene a un minuto de tiempo una temperatura puntual de

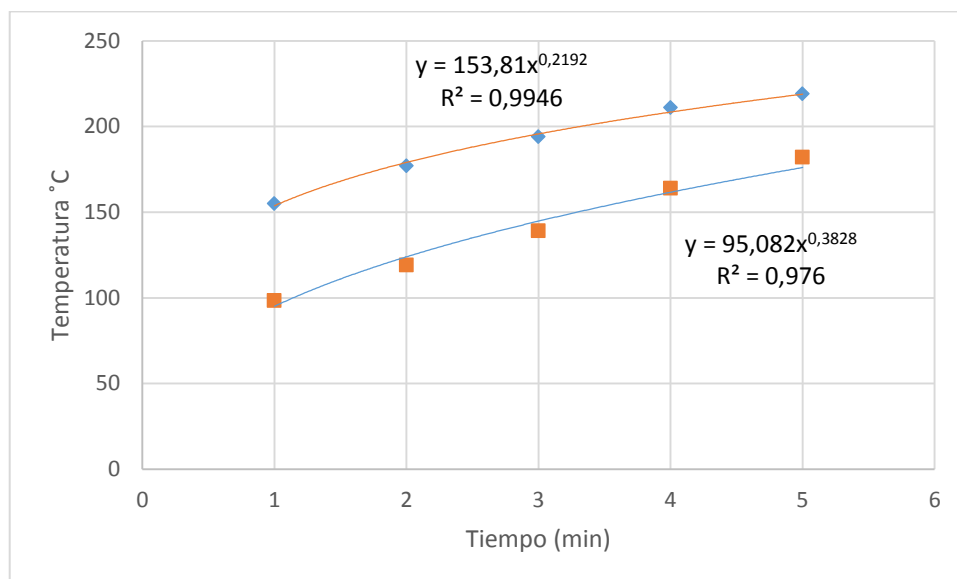
87,1°C, Tmax=133 y una Tmin=17.1 y a los 5 minutos se obtiene tiene una temperatura puntual de 216°C, Tmax=299 y una Tmin=17.9. Para una presión de 0,5 Psi se pudo realizar la prueba con caudal alto obteniendo los siguientes datos temperatura puntual de 107°C a un minuto de tiempo y a los 5 minutos se obtiene una temperatura puntual de 250°C.

4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A partir de los datos obtenidos en las pruebas se realizó la gráfica de comparación para analizar el comportamiento de la temperatura y su curva potencial para poder evaluar la eficiencia del quemador.

Figura 4.5 Gráfica de comparación de temperatura a 1 y 2 Psi

Fuente: Diego Núñez

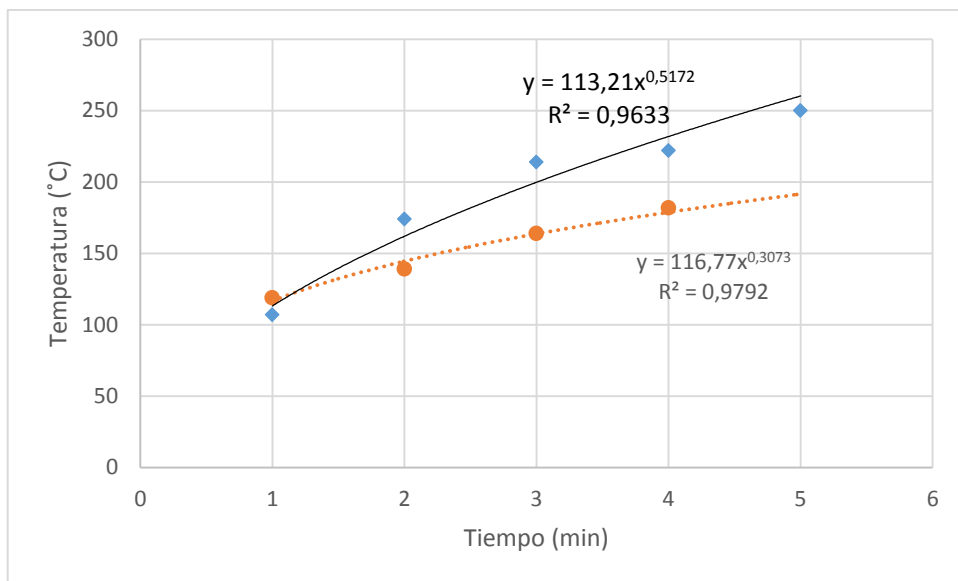


En esta grafica se puede verificar para este quemador tiene un consumo promedio de 60 dm³/h además que el aumento de la presión del quemador genera una temperatura alta pero produce una pérdida de potencia térmica. Al analizar la imagen termográfica se ve que al momento que se eleva la presión la llama del quemador se distorsiona generando temperaturas altas en varios puntos perdiendo

su eficiencia térmica ya que la principal función del quemador es generar una llama específica en un punto para aprovechar al máximo el calor.

Figura 4.6 Gráfica de comparación de temperatura a 0,5 Psi

Fuente: Diego Núñez



En la gráfica se puede notar que con la variación de caudal a una presión de 0,5 Psi genera una temperatura óptima para realizar un trabajo doméstico además de una correcta área de llama lo que podemos concluir que la combustión se está realizando de una manera eficaz.

En la siguiente tabla se muestra el calor a partir de la temperatura de los productos.

Para poder visualizar de mejor manera la eficiencia del quemador en base a las temperaturas obtenidas por la cámara termográfica FLIR E4 se agrupo las imágenes termográficas a un minuto de tiempo a las presiones 0.5, 1, y 2 con un caudal mínimo. Para la comprobación de la hipótesis se utilizó las ecuaciones mostradas en el plan de procesamiento de información en el capítulo 3.

Temperatura de gases obtenidas a 1 minuto de iniciado la combustión.

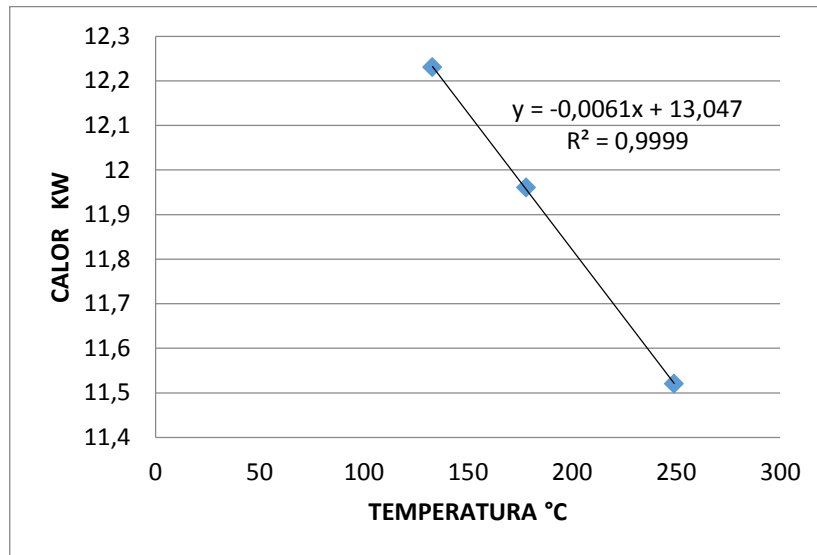
Tabla 4.5 Temperatura vs Calor

Fuente: Diego Núñez

Presión (Psi)	Temperatura (°C)	Calor (kW)
0,5	133	12,23
1	178	11,96
2	249	11,52

Figura 4.7 Gráfica de Temperatura vs Calor

Fuente: Diego Núñez



Como podemos observar en la tabla 4.5 y figura 4.7 a una temperatura de 133 °C tiene un calor de 12,23 kW y a 249 °C se tiene un calor de 11,52 kW. Como conclusión se puede deducir que a mayor temperatura menor es la pérdida de calor o de potencia térmica ya que en las imágenes termográficas se puede apreciar la pérdida de combustible que se pierde al ambiente o que la combustión no se realiza de forma correcta.

En base a la metodología citada anteriormente y utilizando las ecuación 3.1, 3.2, 3.3, y 3.4 mostradas en el capítulo 3 se determinó las siguientes eficiencias de las temperaturas seleccionadas.

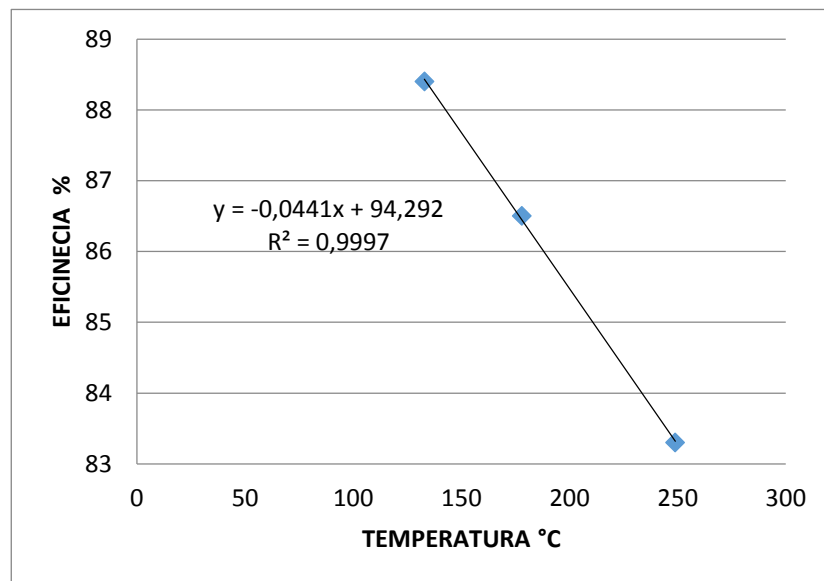
Tabla 4.6 Temperatura vs Eficiencia

Fuente: Diego Núñez

Presión (Psi)	Temperatura(°C)	Eficiencia (%)
0,5	133	88,4
1	178	86,5
2	249	83,3

Figura 4.8 Gráfica de Temperatura vs Eficiencia

Fuente: Diego Núñez




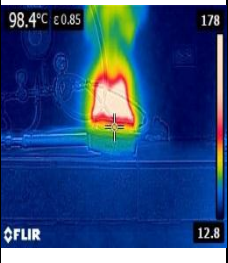
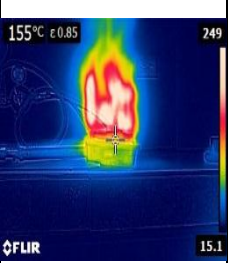
Como se puede observar a una temperatura de 87°C se tiene una mayor eficiencia en la llama del quemador y una temperatura de 250 °C tiene una eficiencia 83% que nos da por concluir que la eficiencia es inversamente proporcional a la temperatura.

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

En la siguiente tabla en la cual se realizó la variación de la presión a un caudal bajo permitió evaluar su eficiencia, además el análisis termográfico permitió visualizar el área de la llama en el quemador con sus puntos fríos y calientes.

Tabla 4.7 Variación del caudal y la presión para evaluar su eficiencia

Fuente: Diego Núñez

Caudal	Presión (Psi)	T puntual (°C)	T máxima (°C)	T mínima (°C)	Imagen termográfica	Eficiencia (%)
Bajo	0,5	87,1	133	17.2		88,4
Bajo	1	98,4	178	12.8		86,5
Bajo	2	155	249	15.1		83,3

Como se puede ver en las tabla al elevar la presión a 1 y 2 Psi se obtiene mayor temperatura pero obliga a la llama a distorsionarse generando pérdidas de potencia térmica ya que se divide para diferentes puntos de la atmosfera, en cambio a una presión de 0,5 Psi no importa si el caudal es alto o bajo genera una área térmica

adecuada para realizar un trabajo requerido. Esto quiere decir que la temperatura es inversamente proporcional al calor entonces la eficiencia es inversamente proporcional a la temperatura como nuestra la gráfica ya que a menor temperatura que entra los productos en la reacción de combustible mayor es el calor aprovechado.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se pudo determinar a 2 Psi de presión y caudal bajo que a $t=60s$ una temperatura mínima de $155\text{ }^{\circ}\text{C}$ y a $t=300s$ alcanza una temperatura de 219°C teniendo una eficiencia de 83% debido a que pierde potencia térmica en la flama generando un sector o área oscura en la parte central del quemador esto podemos visualizar mediante las imágenes termográficas que nos da por deducir que la combustión no está desarrollando apropiadamente.
- Para una presión de 1 Psi se observó que a $t=60s$ una temperatura mínima de $98,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y a $t=300s$ alcanza una temperatura de 182°C teniendo una eficiencia de 86,5% ya que en el análisis de la imagen termográfica se puede notar que la área oscura disminuye en comparación a la imagen que tiene una presión de 2 Psi que nos permite determinar que el proceso de combustión tuvo una mejora en el quemador.
- En el análisis termográfico se puede visualizar que a una presión de 0,5 Psi alcanza una temperatura $216\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $t=300s$ y una mínima de $87,1$ a $t=1s$ además genera una llama alta o baja con una eficiencia de 88,4% del quemador con una correcta área térmica aprovechando al máximo el combustible, además una potencia térmica idónea para un perfecto trabajo donde se requiera calentamiento en un punto específico ya que la llama no se distorsiona.

- Se determinó que a una presión de 0,5 Psi y caudal bajo tiene una eficiencia de 88,4% es decir mejor a la de 1 y 2 Psi que tienen eficiencias de 86% y 83% de acuerdo al análisis en la reacción de combustión realizado anteriormente esto se debe a que es inversamente proporcional la temperatura con el calor debido a que va bajando la temperatura de productos tiene mayor calor aprovechado.
- Las curvas de variación de temperatura con respecto al tiempo, en las gráficas 4,5 y 4,6 se ajustan en alto grado al modelo de ecuación potencial, lo cual se justifica con las curvas de estado transitorio para calentamiento producidas con transferencia de calor además el factor de correlación es bastante cercano a 1 eso nos indica que no hay dispersión de datos.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se debe tener en cuenta que para la utilización de equipos termográficos que para tener una medida puntual es necesario tener conocimiento de emisividad, temperatura reflejada y distancia del objeto hacer analizado, ya que influye directamente a la temperatura.
- Al momento de realizar una medida termográfica se debe tratar que el punto a medir este aislado ya que la sola presencia de un cuerpo que genere calor influye mucho en la lectura dada por estos equipos

CAPÍTULO VI

6. PROPUESTA

En el siguiente capítulo nos enfocaremos a realizar un estudio termográfico en una aplicación normal de calentamiento de agua que se hace a nivel doméstico con la finalidad de conocer la eficiencia de este sistema además de conocer los pasos a seguir para un correcto análisis termográfico ya que no existe mucha información de la utilización de estos métodos que disminuye tiempo y dinero es por eso que se eligió este tema como investigación debido al desconocimiento de estos métodos que hoy en día son las nuevas opciones que adoptan las empresas.

6.1 DATOS INFORMATIVOS

TEMA:

“ANÁLISIS TÉRMICO DEL CALENTAMIENTO DE AGUA APLICANDO TERMOGRAFÍA EN QUEMADOR DE GLP DE USO DOMÉSTICO”

PERSONAL EJECUTORIO

- Tutor: Ing. Santiago Cabrera
- Ejecutor: Egd. Diego Núñez

UBICACIÓN

- Institución: Universidad Técnica de Ambato
- Facultad: Ingeniería Civil Y Mecánica

- Carrera: Ingeniería Mecánica
- Laboratorio: Energía

BENEFICIARIO

- Facultad: Ingeniería Civil Y Mecánica
- Carrera: Ingeniería Mecánica

TÉCNICO RESPONSABLE

Egd. Diego Núñez

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Como antecedentes del tema planteado tenemos las temperaturas obtenidas con la cámara termográfica donde se determina que la temperatura máxima de llama alta es de 250 °C a un tiempo de 5 minutos con una presión de 0.5 Psi.

En cambio la temperatura máxima con llama baja es de 216 °C en un tiempo de 5 minutos con una presión de 0,5 Psi que nos servirá para realizar posteriores análisis en nuestro tema.

6.3 JUSTIFICACIÓN

La termografía mediante la visualización de una imagen térmica contribuye a evitar las interrupciones que se producen tanto en el suministro de energía al consumidor como en la alimentación de los diversos equipos, debido a fallos, averías en los distintos sistemas de transmisión y distribución de energía.

Además en la facultad de Ingeniería Mecánica no existe ninguna investigación sobre la utilización de termografía en algún sistema debido a que se tiene total desconocimiento en procesos y equipos.

6.4 OBJETIVOS

De acuerdo a nuestro tema de propuesta se plantearon los siguientes objetivos.

6.4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis térmico del calentamiento de agua en un quemador de GLP de uso doméstico aplicando termografía.

6.4.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Plantear el balance energético del calentamiento de agua en un quemador de GLP de uso doméstico.
- Determinar la eficiencia energética del quemador de GLP de uso doméstico

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

El análisis térmico para medir la eficiencia energética de un quemador de uso doméstico utilizando termografía presenta factibilidad tanto tecnológica como económica, tecnológica porque en el país muchas entidades públicas y privadas cuentan con estos equipos. En lo económico se puede mencionar la facilidad de obtener un quemador doméstico ya que la mayoría de hogares cuentan con una cocina doméstica.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

6.6.1 ANÁLISIS DEL PROCESO DE CALENTAMIENTO DE AGUA UTILIZANDO EL QUEMADOR DE GLP

Los resultados de las prueba de calentamiento de agua se observan en la tabla 6,1 y fig. 6,1 la temperatura ambiente se de 19 °C.

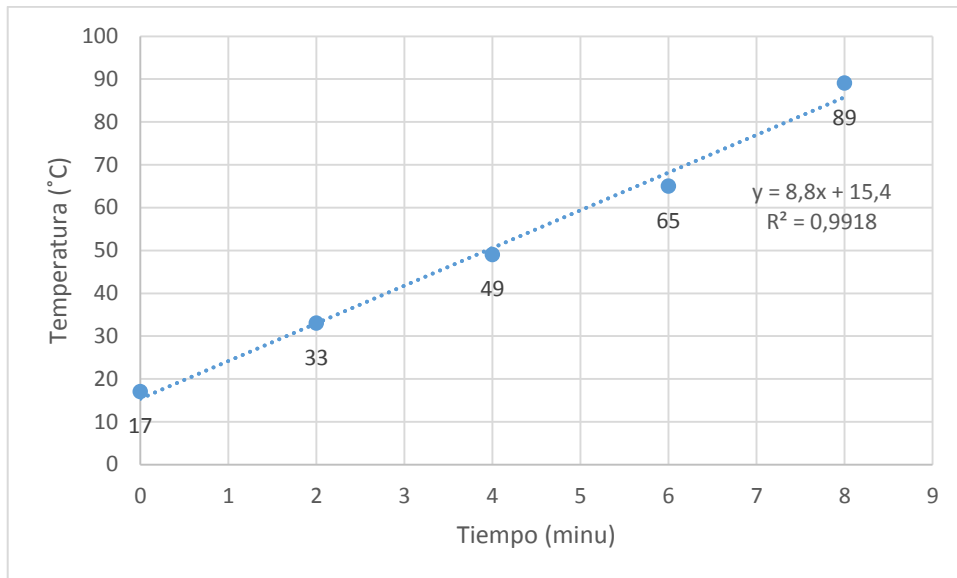
Tabla 6.1 Calentamiento de 1Kg de agua a medio día

Fuente: Diego Núñez

Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)
0	17
2	33
4	49
6	65
8	89

Figura 6.1 Temperatura del agua vs Tiempo a una P=0,5 Psi

Fuente: Diego Núñez



Se observa que el crecimiento es aproximadamente lineal y a partir de los 89 °C empieza la evaporación luego la temperatura permanece constante.

6.6.2 ANÁLISIS TERMOGRÁFICO DEL PROCESO DE CALENTAMIENTO DE AGUA DEL QUEMADOR DE GLP UTILIZANDO LA CÁMARA TERMOGRÁFICA FLIR E4

Los resultados termográficos de las prueba de calentamiento de agua se observan en la tabla 6,2 fig. 6,2 y foto 6.1 a una temperatura ambiente de 19 °C.

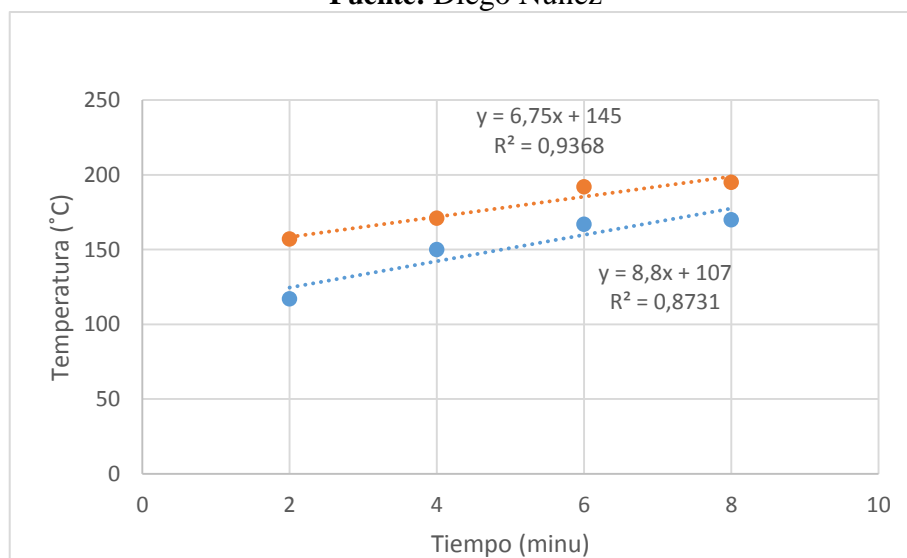
Tabla 6.2 Datos obtenidos de la temperatura de la olla

Fuente: Diego Núñez

Tiempo (minutos)	Temperatura de olla (°C)	
	Lateral superior	Base
0	20	20
2	117	157
4	150	171
6	167	192
8	170	195

Figura 6.2 Temperatura puntual vs Tiempo a una P=0,5 Psi

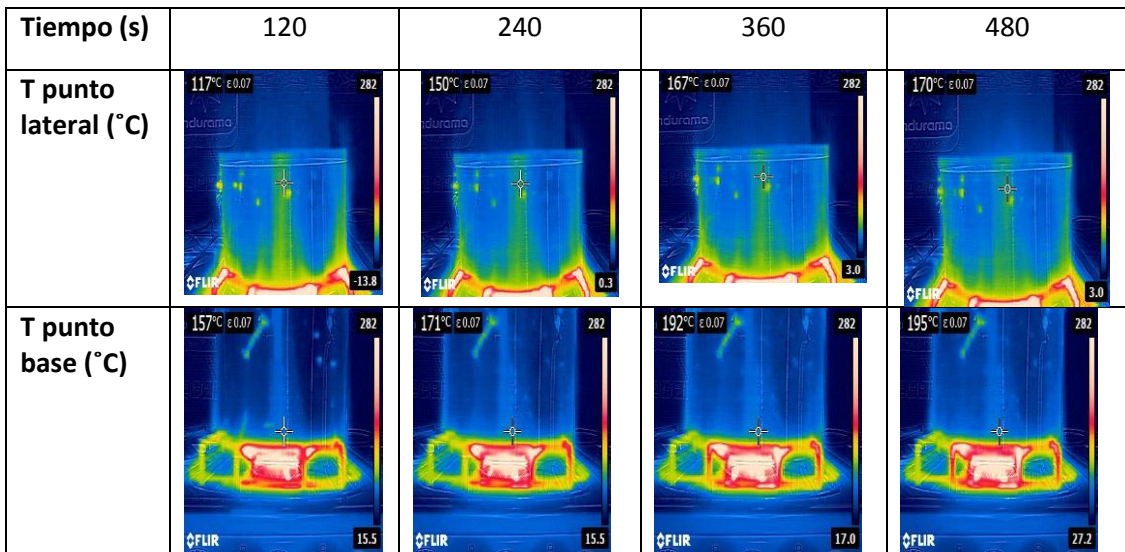
Fuente: Diego Núñez



Se observa que el crecimiento de las temperaturas es lineal tanto para el punto lateral y el de la base, el aumento de las temperaturas es debido a la proximidad que se encuentran cada punto desde la llama del quemador.

Foto 6.1 Calentamiento de agua

Fuente: Cámara termográfica FLIR E4



En las imágenes termográficas se puede observar las temperatura obtenidas durante los 8 minutos, tanto en la parte superior lateral y cerca de la base de la olla.

6.7 METODOLOGÍA

En este capítulo se utilizara fórmulas que fueron impartidas a lo largo de la carrera estudiantil pero serán analizadas mediante la utilización de datos obtenidos por una cámara termográfica FLIR E4.

6.7.1 CÁLCULOS TÉRMICOS

Para realizar un análisis profundo del calentamiento de agua se procede a realizar cálculos térmicos donde implica los cálculos de pérdidas y ganancia de potencia de este proceso.

6.7.1.1 DETERMINACIÓN DE CALORES EN EL CALENTAMIENTO DE AGUA EN UNA OLLA DOMÉSTICA.

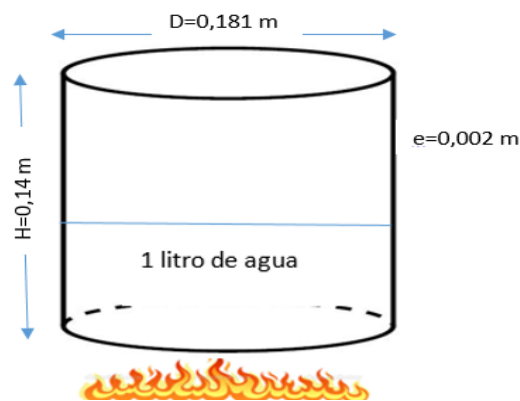
En este punto se procede a calcular calores entregados por el sistema de calentamiento de agua.

a).- Cálculo del calor de combustión

Para determinar el calor entregado por la combustión se toma a consideración que es estado estable para cual se recurre a la siguiente ecuación.

Figura 6.3 Calor de Combustión

Fuente: Diego Núñez



$$Q_{entra} = \dot{m}_{GLP} (P_{calo})$$

Ec. 6.1

Dónde:

$Q_{entra} = \text{Calor teórico de llama producido por el quemador (kW)}$

$\dot{m}_{GLP} = \text{Consumo de GLP } \left(\frac{kg}{h}\right)$

$P_{calo} = \text{Poder calorífico del GLP} = 11900 \frac{kcal}{kg}$ (Cabrera, 2010, pág. 197)

Para el cálculo del Q_{entra} se toma un $\dot{m}_{GLP} = 0,2 \frac{kg}{h}$ de acuerdo a las pruebas realizadas anteriormente como se muestra en el Capítulo 3,5 reemplazando en la ecuación 6,1 se obtiene:

$$Q_{entra} = \frac{0,2 \text{ kg}}{h} \left(\frac{11900 \text{ kcal}}{kg} \right) \left(\frac{4,18 \text{ J}}{\text{cal}} \right) \left(\frac{h}{3600 \text{ s}} \right)$$

$$Q_{entra} = 2,76 \text{ kW}$$

b).- Cálculo del calor ganado por el agua

Para determinar el calor ganado por el agua se procedió a medir la temperatura del agua utilizando un termómetro antes y después del calor entregado por el quemador de GLP de uso doméstico.

La prueba se realizó en una olla de aluminio con 1 litro de agua a una temperatura ambiente de 19 °C obteniendo los siguientes datos.

Figura 6.4 Calor ganado por el agua

Fuente: Diego Núñez



$$Q_{\text{agua}} = \frac{m C_p (T_f - T_o)}{t} \quad \text{Ec. 6.2}$$

Dónde:

$Q_{\text{agua}} = \text{Calor del agua (kW)}$

$m_{\text{agua}} = 1 \text{ kg} = \text{Ocupado en volumen de 1 ltr}$

$T_f = 89^\circ\text{C} = \text{Temperatura final del agua}$

$T_o = 17^\circ\text{C} = \text{Temperatura inicial del agua}$

$t = \text{Tiempo} = 8 \text{ minutos} = 480\text{s}$

Para una Temperatura Promedio $\bar{T} = 53^\circ\text{C}$ el $C_p = 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{K}}$ (Anexo 13.)

Remplazando en la ecuación se obtiene:

$$Q_{agua} = \frac{1 \text{ kg} \left(\frac{4,18 \text{ kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) (362 - 290) \text{ K}}{480 \text{ s}}$$

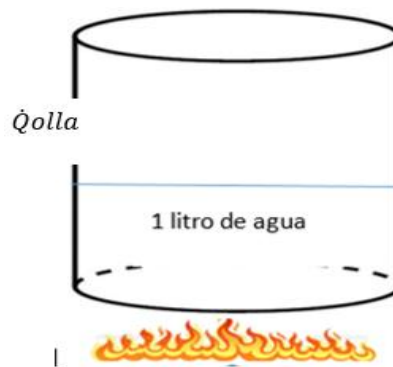
$$Q_{agua} = 0,627 \text{ kW}$$

c).- Cálculo del calor en la olla

Para el cálculo del calor ganado en la olla se utiliza la temperatura máxima obtenida en la tabla 6.2 sin tomar en cuenta la superficie del fondo de la olla.

Figura 6.5 Calor ganado por la olla

Fuente: Diego Núñez



$$Q_{olla} = \frac{m C_p (T_f - T_o)}{t} \quad \text{Ec. 6.3}$$

Dónde:

Q_{olla} = Calor perdido por las paredes (kW)

m_{olla} = masa de la olla (kg)

C_p = Calor específico del aluminio = $0,902 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ (Anexo 14.)

$T_f = 170^\circ C = \text{Temperatura final}$

$T_o = 19^\circ C = \text{Temperatura inicial}$

$t = \text{Tiempo} = 8 \text{ minutos} = 480s$

$\rho_{aluminio} = \text{Densidad del aluminio} = 2700 \frac{kg}{m^3}$ (Anexo 14.)

Cálculo del volumen de la pared de la olla

$$V_{pared} = \pi * D * H * e \quad \text{Ec. 6.4}$$

Dónde:

$V_{pared} = \text{Volumen de la pared de la olla (m}^3\text{)}$

$D_{olla} = \text{Diámetro de la olla} = 0,181m$

$H_{olla} = \text{Altura de la olla} = 0,14m$

$e_{olla} = \text{Espesor de la olla} = 0,002m$

Remplazamos

$$V_{pared} = \pi * (0,181 m)(0,14 m)(0,002 m)$$

$$V_{pared} = 0,0001592 m^3$$

Cálculo de masa de las paredes de la olla

$$m_{olla} = \rho_{aluminio} * V_{pared} \quad \text{Ec. 6.5}$$

$$m_{olla} = \left(\frac{2700 \text{ kg}}{m^3} \right) (\pi * (0,181 \text{ m})(0,14 \text{ m})(0,002 \text{ m}))$$

$$m_{olla} = 0,429 \text{ kg}$$

Remplazando en la ecuación 6.3 se obtiene:

$$Q_{olla} = \frac{(0,429 \text{ kg}) \left(\frac{0,902 \text{ kJ}}{\text{kg}^\circ\text{K}} \right) (443 - 292) ^\circ\text{K}}{480 \text{ s}}$$

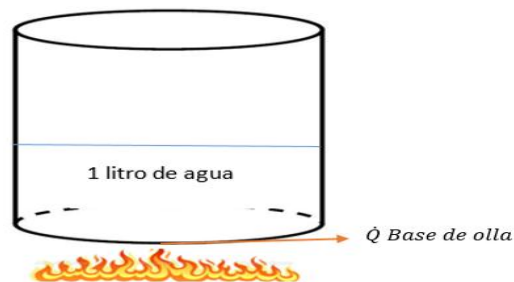
$$Q_{olla} = 0,121 \text{ kW}$$

d).- Cálculo de calor en la base de la olla

Debido al problema para poder obtener la temperatura en la base de la olla se procedio a tomar una referencia en un punto cercano a la base para tener un valor aproximado (Anexo 6.).

Figura 6.6 Calor ganado base de la olla

Fuente: Diego Núñez



$$Q_{base\ de\ olla} = \frac{m\ C_p\ (T_f - T_o)}{t}$$

Ec. 6.6

Dónde:

$Q_{base\ de\ olla} = \text{Calor ganado en la base de la olla (kW)}$

$m_{base\ de\ la\ olla} = \text{Masa de la base olla (kg)}$

$C_p = \text{Calor específico del aluminio} = 0,902 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ (Anexo 14.)

$T_f = 195^\circ C = \text{Temperatura final base de la olla}$

$T_o = 19^\circ C = \text{Temperatura inicial base de la olla}$

$t = \text{Tiempo} = 8 \text{ minutos} = 480s$

Cálculo de masa de la base de la olla

$$m_{base\ de\ la\ olla} = \rho V \quad \text{Ec. 6.7}$$

Dónde:

$m_{base\ de\ la\ olla} = \text{Masa (kg)}$

$\rho_{aluminio} = \text{Densidad del aluminio} = 2700 \frac{kg}{m^3}$ (Anexo 14.)

$V_{base\ de\ la\ olla} = \text{Volumen de la base de la olla (m}^3\text{)}$

Cálculo del volumen de la base de la olla.

$$V_{base\ de\ la\ olla} = \frac{\pi D^2 e}{4} \quad \text{Ec. 6.8}$$

Dónde:

$$V_{base\ de\ la\ olla} = Volumen\ (m^3)$$

$$D_{olla} = Diámetro\ de\ la\ olla = 0,181m$$

$$e_{olla} = Espesor\ de\ la\ olla = 0,002m$$

Remplazamos en la ecuación 6.8 para obtener el volumen de la base de la olla

$$V_{base\ de\ la\ olla} = 0,0000514\ m^3$$

Para obtener la masa de la olla remplazamos en la ecuación 6.7

$$m_{base\ de\ olla} = 0,138kg$$

Remplazando en la ecuación 6.6 se obtiene:

$$Q_{base\ de\ olla} = \frac{(0,138kg) \left(\frac{0,902\ kJ}{kg^{\circ}K} \right) (468 - 292)^{\circ}K}{480\ s}$$

$$Q_{base\ de\ olla} = 0,045\ kW$$

6.7.1.2 DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS DE CALOR EN EL CALENTAMIENTO DE AGUA EN UNA OLLA DOMÉSTICA.

En este punto se procedió a calcular todas las pérdidas que existen en el proceso de calentamiento de agua en las que se encuentran por convección, radiación y en el aire.

a).- Pérdida de calor por Convección

Figura 6.7 Pérdidas por Convección

Fuente: Diego Núñez



$$Q_{conv} = h A (T_s - T_{\infty}) \quad \text{Ec. 6.9}$$

Dónde:

Q_{conv} = Pérdidas de calor por Convección (kW)

h = Coeficiente de transferencia de calor del aire = $12 \frac{W}{m^2 \cdot C}$ (Cengel Y. , 2004, pág. 26)

A_{olla} = Área de la olla (m^2)

T_s = $89^{\circ}C$ = Temperatura final del agua

T_{∞} = $17^{\circ}C$ = Temperatura inicial del agua

Cálculo del área periférica de la olla

$$A_{olla} = \pi DH \quad \text{Ec. 6.10}$$

Dónde:

$$A_{olla} = \text{Área de la olla (m}^2\text{)}$$

$$D_{olla} = \text{Diámetro de la olla} = 0,181\text{m}$$

$$H_{olla} = \text{Altura de la olla} = 0,14\text{m}$$

Remplazando en la ecuación 6.10 se obtiene:

$$A_{olla} = 0.0796 \text{ (m}^2\text{)}$$

Luego remplazamos los valores en la ecuación 6.9

$$Q_{conv} = 0.1681 \text{ kW}$$

b).- Pérdida de calor por Radiación

Figura 6.8 Pérdidas por Radiación

Fuente: Diego Núñez



$$Q_{radiación} = \epsilon \sigma A (T_f^4 - T_o^4)$$

Ec. 6.11

Dónde:

$$Q_{\text{radiación}} = \text{Pérdidas de calor por Radiación}$$

$$\varepsilon_{\text{aluminio}} = \text{Emisividad del aluminio} = 0.07 \quad (\text{Anexo 16.})$$

$$A_{\text{base de la olla}} = \text{Área de la base de la olla} = m^2$$

$$T_f = \text{Temperatura final de la base de la olla} = 195^\circ\text{C}$$

$$T_o = \text{Temperatura inicial de la base de la olla} = 19^\circ\text{C}$$

$$\sigma = \text{Constante de Boltzman} = \frac{5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}}{m^2 K^4} \quad (\text{Cengel Y. , 2006, pág. 347})$$

Cálculo del área circular de fondo del recipiente.

$$A_{\text{base de la olla}} = \pi D^2$$

$$A_{\text{base de la olla}} = 0,1029 \text{ m}^2$$

Remplazando en la ecuación 6.11 se obtiene:

$$Q_{\text{radiación}} = (0.07) \left(\frac{5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}}{m^2 K^4} \right) (0,1029 \text{ m}^2) (468^4 - 292^4)^\circ\text{K}$$

$$Q_{\text{radiación}} = 0.1662 \text{ kW}$$

d).- Cálculo de pérdida de calor en el Aire

Figura 6.9 Pérdidas en el Aire

Fuente: Diego Núñez



$$Q_{aire} = \dot{m} h \quad \text{Ec. 6.12}$$

Dónde:

Q_{aire} = Pérdida de Calor en el Aire (kW)

\dot{m}_{aire} = Flujo másico del aire $\left(\frac{kg}{s}\right)$

h_{aire} = Entalpía del aire $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

Cálculo del flujo másico del aire

$$P * A * Vel = \dot{m} * R * T \quad \text{Ec. 6.13}$$

Dónde:

P = Presión atmosférica en Ambato = 80 kPa (Wordlmeteo, 2015)

$A_{boca\ olla}$ = Área de la boca de olla (m^2)

Vel_{aire} = Velocidad del aire $\left(\frac{m}{s}\right)$

$$\dot{m}_{aire} = \text{Flujo másico del aire} \left(\frac{kg}{s} \right)$$

$$R = \text{Constante de gas} = 0,287 \frac{kPa \cdot m^3}{kg \cdot ^\circ K} \quad (\text{Cengel Y. , 2006, pág. 934})$$

$$T = \text{Temperatura en el vapor de agua} = 35 \text{ }^\circ C = 308^\circ K$$

Cálculo del área circular de la boca del recipiente

$$A_{boca\ olla} = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A_{boca\ olla} = 0,025 \text{ m}^2$$

Debido a que las velocidades en el proceso de calentamiento son relativamente baja se estima una velocidad de $0.1 \frac{m}{s}$ para obtener datos aproximados.

Despejando de la ecuación 6.13 tenemos el flujo másico del aire:

$$\dot{m}_{aire} = \frac{80 \text{ kPa} * 0,025 \text{ m}^2 * \left(1 \frac{m}{s}\right)}{0,287 \frac{kPa \cdot m^3}{kg \cdot ^\circ K} * 308 \text{ }^\circ K}$$

$$\dot{m}_{aire} = 0.0022 \frac{kg}{s}$$

$$\text{La entalpía del aire a } 308^\circ K \text{ es de } 308 \frac{kJ}{kg} \quad (\text{Cengel Y. , 2006, pág. 910})$$

Remplazando en la ecuación 6.12 se obtiene:

$$Q_{aire} = \left(0,0022 \frac{kg}{s}\right) \left(\frac{308 \text{ kJ}}{kg}\right)$$

$$Q_{aire} = 0,69 \text{ kW}$$

Sumatoria de calor de perdido en el sistema

$$Q_{perdidas} = Q_{aire} + Q_{conv} + Q_{radiación} \quad \text{Ec. 6.14}$$

$$Q_{perdidas} = 1,01 \text{ kW}$$

Sumatoria de calor ganado en un sistema de calentamiento de agua

$$\Delta E_{SIST} = Q_{agua} + Q_{olla} + Q_{base de la olla} \quad \text{Ec. 6.15}$$

$$\Delta E_{SIST} = 0,793 \text{ kW}$$

6.7.1.3 BALANCE ENERGÉTICO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA EN UN QUEMADOR DE GLP DE USO DOMÉSTICO.

Se procede a realizar el balance energético del sistema.

$$Q_{entra} - Q_{perdidas} = \Delta E_{sistema} \quad \text{Ec. 6.16}$$

Dónde:

$$Q_{entra} = \text{Calor total que entra en el sistema} = 2,76 \text{ kW}$$

$$Q_{perdidas} = \text{Calor total que sale del sistema} = 1,01 \text{ kW}$$

$$\Delta E_{SIST} = \text{Cambio en la energía total del sistema} = 0,793 \text{ kW}$$

Remplazando en la ecuación se obtiene:

$$Q_{entra} - Q_{perdidas} = \Delta E_{sistema} + \text{perdidas cuantificables} \quad \text{Ec. 6.17}$$

$$\text{Pèrdidas cuantificables} = 0.957$$

6.7.1.4 EFICIENCIA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA EN UN QUEMADOR DE GLP DE USO DOMÉSTICO.

Finalmente se calcula la eficiencia del sistema de calentamiento de agua de acuerdo a los datos obtenidos anteriormente.

$$\eta_{APROVECH} = \frac{\Delta E_{sistema}}{Q_{entra}} * 100 \quad \text{Ec. 6.18}$$

Dónde:

$\eta_{APROVECH}$ = Eficiencia del sistema del calentamiento de agua

Q_{entra} = Calor entregado al sistema por el sistema = 2.76 kW

ΔE_{SIST} = Cambio en la energía total del sistema = 0,793 kW

Remplazando en la ecuación 6.18 se obtiene una eficiencia de:

$$\eta = \frac{0,793 \text{ kW}}{2,76 \text{ kW}} * 100$$

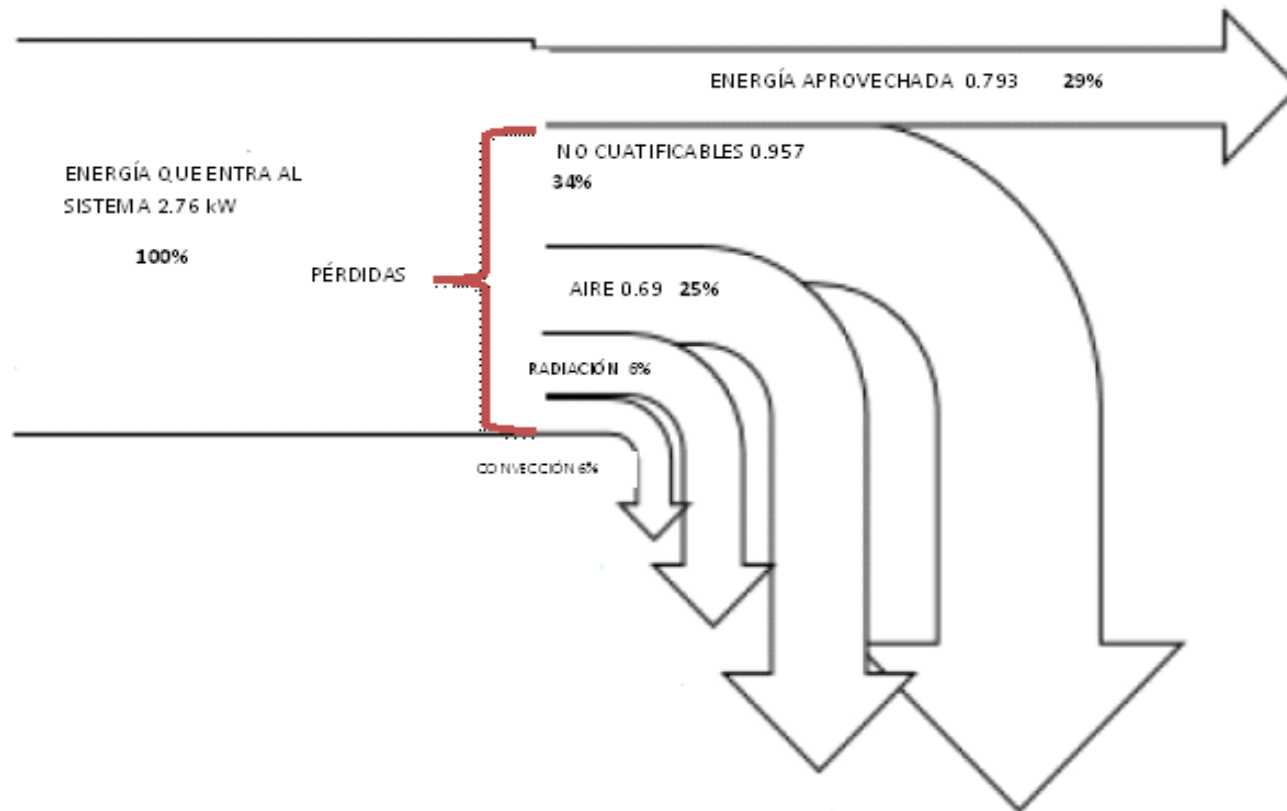
$$\eta = 29 \%$$

Se obtuvo una eficiencia del 29 % este dato nos sirve como referencia dado a que es netamente analítica.

Para una mejor visualización e interpretación de los resultados obtenidos se realizó un diagrama de SANKEY donde se puede ver los porcentajes de ganancia y de pérdida del sistema de calentamiento de agua.

Figura 6.10 Diagrama de SANKEY

Fuente: Diego Núñez



6.8 ADMINISTRACIÓN

En el siguiente cuadro se muestra la administración de proceso de toma de imágenes termográficas.

Tabla 6.3 Administración de proceso.

Fuente: Diego Núñez

Fase	Objetivos	Actividades	Recursos	Responsable
Sensibilización	Definir la tarea a realizar con la cama termográfica	Enumere todo el equipamiento que desee supervisar	- Humano - Material de oficina	Investigador
Planificación	Realizar una inspección inicial de lugar y área de trabajo	Estas imágenes le servirán como material de referencia inicial. Por lo tanto, resulta muy importante documentar bien su inspección inicial.	- Humano - Material de oficina -Cámara Termográfica	Investigador
Ejecución	Iniciar inspección termográfica	Si se han realizado y documentado correctamente todas las mediciones de temperatura de referencia, puede comenzar a inspeccionar el equipo	- Humano - Material de oficina -Cámara Termográfica	Investigador
Evaluación	Análisis y Creación de informes termográficos	Cuando se haya inspeccionado todo el equipo, deberá volver a la oficina para realizar el análisis de las imágenes y resumir las conclusiones en un informe.	- Humano - Material de oficina	Investigador

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

El propósito de la realización de ensayos utilizando equipos termográficos está centrado en comprobar el correcto funcionamiento de los quemadores domésticos, lo cual es tangible por la visualización de los espectros termográficos mostradas en las diferentes imágenes.

Estas pruebas se deben realizar en lugares cerrados y completamente despejados además se debe realizar varias pruebas para comprobar de mejor manera la hipótesis.

Para obtener medidas reales es necesario contar con equipos debidamente calibrados para que no exista pérdida de calor.

BIBLIOGRAFÍA

- Cabrera, S. (2010). Teoría de la termodinámica de procesos. 197-198.
- Cengel, Y. (2004). *Transferencia de Calor*. México: McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES S.A DE C.V.
- Cengel, Y. (2006). *Termodinámica*. México: Editores S.A.
- García, R. (2001). Quemadores. *01C22 02 QUEMADORES*, 2-4.
- Guerrero, F. (2002). *Adaptación de un quemador para cocinas a gas en la empresa Mabe Ecuador*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Repositorio Digital de la ESPOL.
- Holman, J. (1998). *Transferencia de Calor*. Madrid: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A. U.
- Huang, F. (1997). *Termodinámica*. México: COMPAÑIA EDITORIAL CONTINENTAL, S. A. DE C. V. MEXICO.
- Mavainsa. (6 de Enero de 1994). *Nuestra empresa, MAVAINSA, S.L. viene desarrollando sus actividades desde 1994, y es fruto de la unión de empresas y profesionales de amplia experiencia en el sector industrial*. Obtenido de MAVAINSA. S.L.: http://www.mavainsa.com/documentos/3_combustion.pdf
- MetroGas. (2 de Abril de 1858). *MetroGAS es una de las más importantes empresas de servicios públicos de la Argentina y la mayor en el sector de distribución de gas natural*. Obtenido de MetroGAS S.A.: http://www.metrogas.cl/industria/asesoria_tecnica_1

Núñez, L. (2010). *TRATAMIENTO DE DESPERDICIOS, RESTOS CONTAMINANTES Y SU EFECTO EN LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL PRODUCIDA POR LA EMPRESA AVÍCOLA COMALGAR*. Ambato, Tungurahua, Ecuador: Repositorio UTA.

Salazar, J. (2010). *Estudio técnico-comparativo para la inducción de cocinas eléctricas de inducción magnética en el Ecuador*. Quito, Pichincha, Ecuador: Repositorio digital ESPN.

TESTO AG. (2008). Termografía de bolsillo. *copyright TestoAG*, 48-49.

Típan, C. (2011). *Diseño De Una Plan De Mantenimiento Predictivo Para El Equipo De Subestaciones Mediante El Analisis Estadísticos De Los Datos De Temperatura Obtenidos De Un Estudio Termográfico*. Quito: Repositorio ESPN.

ANEXOS

ANEXO 1. Cámara termográfica FLIR E4

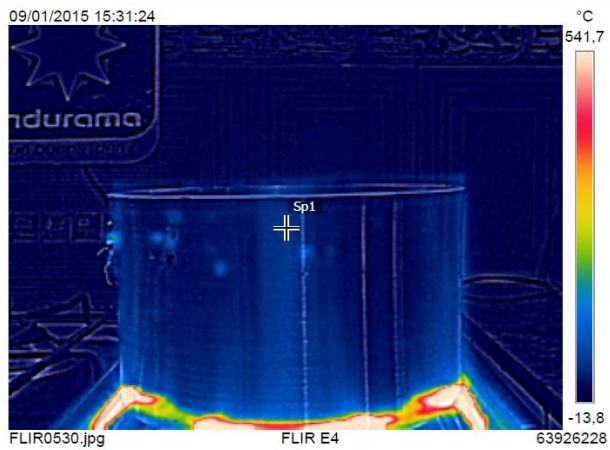
Código	137421	
Referencia	FLIR E4	
Rango de Temperatura	-20 a 250 °C	
Sensibilidad Termica	<0.15°C	
Resolucion Infrarroja IR	80x60 pixeles	
Formato(s) Archivo(s) / Almacenamiento	JPEG / 500 imagenes	
Pantalla / Resolucion / Frecuencia Imagen	LCD 3" / 320x240 pix / 9 Hz	
Memoria	N/A	
Software	Descarga y analisis de datos incluido	
Precision	±2% o 2°C	
Enfoque del Lente	Foco libre	
Modos de Medicion Visual	Punto (Centro)	
Campo de vision / Distancia de Enfoque Minima	45°x34°	
Caracteristicas	Rango Espectral: 7.5 - 13 µm Paleta de Colores: Hierro, Arcoiris, Gris. Tipo Detector: Microbolometro Refrigerado	
Alimentacion	Bateria Recargable Ion de Litio con Adaptador de carga AC	
Marca		
Existencia	10 DIAS	

ANEXO 2. Imagen termográfica de la olla punto lateral a 2 minutos



Medidas		°C
Sp1	117,9	

Parámetros	
Emisividad	0.07
Temp. refl.	21 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	20 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	50 %



09/01/2015 15:31:24

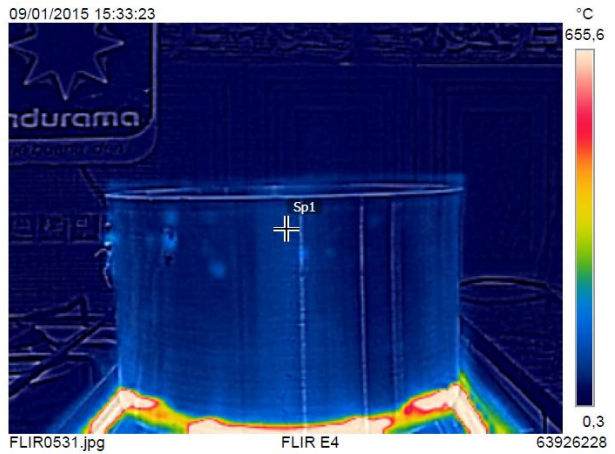


ANEXO 3. Imagen termográfica de la olla punto lateral a 4 minutos



Medidas		°C
Sp1	147.8	

Parámetros	
Emisividad	0.07
Temp. refl.	21 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	20 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	50 %

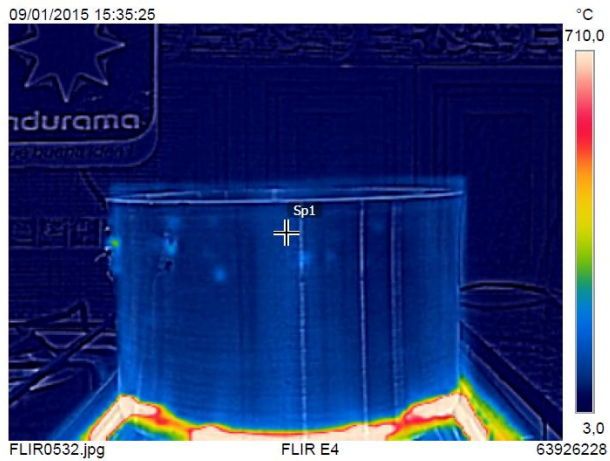


ANEXO 4. Imagen termográfica de la olla punto lateral a 6 minutos



Medidas		°C
Sp1	165,7	

Parámetros	
Emisividad	0.07
Temp. refl.	21 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	20 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	50 %



09/01/2015 15:35:25

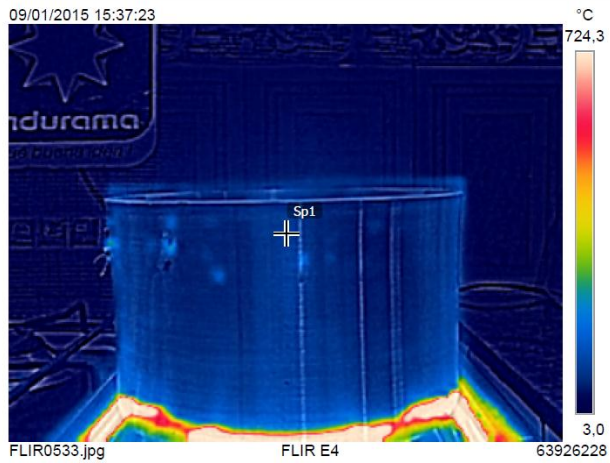


ANEXO 5. Imagen termográfica de la olla punto lateral a 8 minutos



Medidas		°C
Sp1	171.3	

Parámetros	
Emisividad	0.07
Temp. refl.	21 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	20 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	50 %

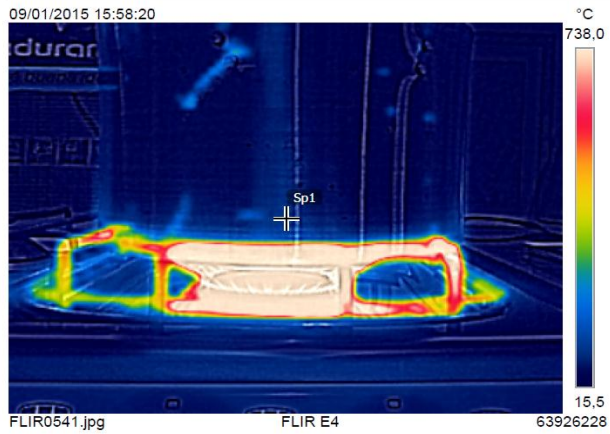


ANEXO 6. Imagen termográfica de la olla punto base a 2 minutos



Medidas		°C
Sp1	156,5	

Parámetros	
Emisividad	0.07
Temp. refl.	21 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	20 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	50 %

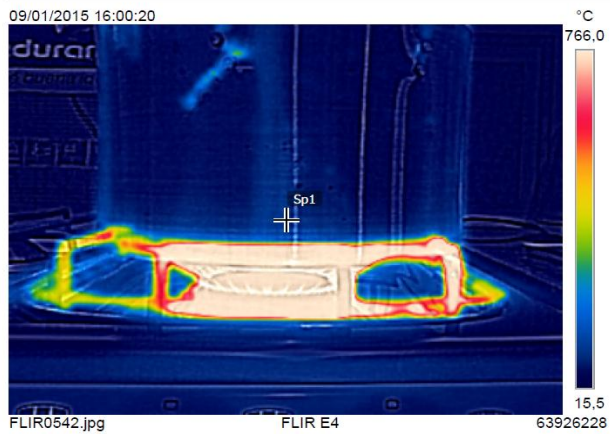


ANEXO 7. Imagen termográfica de la olla punto base a 4 minutos



Medidas		°C
Sp1	169,7	

Parámetros	
Emisividad	0.07
Temp. refl.	21 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	20 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	50 %



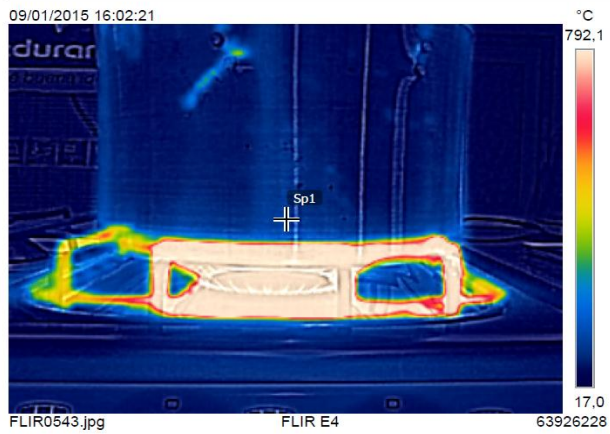
FLIR0542.jpg FLIR E4 63926228

ANEXO 8. Imagen termográfica de la olla punto base a 6 minutos



Medidas		°C
Sp1	191,1	

Parámetros	
Emisividad	0.07
Temp. refl.	21 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	20 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	50 %

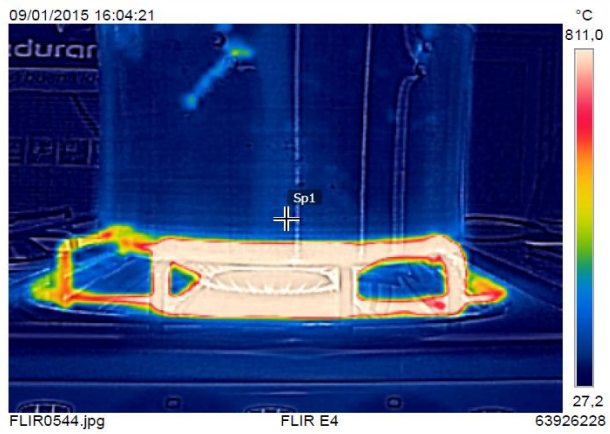


ANEXO 9. Imagen termográfica de la olla punto base a 8 minutos



Medidas		°C
Sp1	196.3	

Parámetros	
Emisividad	0.07
Temp. refl.	21 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	20 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	50 %



FLIR0544.jpg FLIR E4 63926228

ANEXO 10. Tabla de valores típicos de coeficiente de transferencia de calor por convección

26 TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA

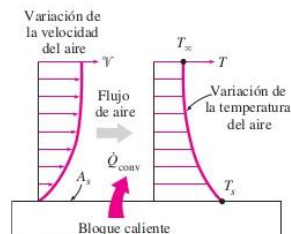


FIGURA 1-32
Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire por convección.

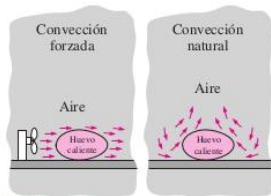


FIGURA 1-33
Enfriamiento de un huevo cocido por convección forzada y convección natural.

TABLA 1-5

Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección

Tipo de convección	h , $W/m^2 \cdot ^\circ C^*$
Convección libre de gases	2–25
Convección libre de líquidos	10–1 000
Convección forzada de gases	25–250
Convección forzada de líquidos	50–20 000
Ebullición y condensación	2 500–100 000

*Multiplíquese por 0.176 para convertir a $Btu/h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$.

adyacente al bloque, por conducción. Enseguida, esta energía es acarreada alejándola de la superficie, por convección; es decir, por los efectos combinados de la conducción dentro del aire, que se debe al movimiento aleatorio de moléculas de éste, y del movimiento masivo o macroscópico de ese aire que remueve el aire calentado cercano a la superficie y lo reemplaza por otro más frío.

La convección recibe el nombre de **convección forzada** si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos como un ventilador, una bomba o el viento. Como contraste, se dice que es **convección natural** (o **libre**) si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido (figura 1-33). Por ejemplo, en ausencia de un ventilador, la transferencia de calor del bloque caliente de la figura 1-31 será por convección natural, ya que, en este caso, cualquier movimiento en el aire se deberá a la elevación del aire más caliente (y, por tanto, más ligero) cercano a la superficie y la caída del más frío (y, por tanto, más pesado) para llenar su lugar. La transferencia de calor entre el bloque y el aire circundante será por conducción si la diferencia de temperatura entre el aire y el bloque no es suficientemente grande como para vencer la resistencia de ese aire al movimiento y, por consiguiente, para iniciar corrientes naturales de convección.

Los procesos de transferencia de calor que comprenden *cambio de fase* de un fluido también se consideran como convección a causa del movimiento de ese fluido inducido durante el proceso, como la elevación de las burbujas de vapor durante la ebullición o la caída de las gotitas de líquido durante la condensación.

A pesar de la complejidad de la convección, se observa que la rapidez de la *transferencia de calor por convección* es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa en forma conveniente por la **ley de Newton del enfriamiento** como

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (W) \quad (1-24)$$

en donde h es el *coeficiente de transferencia de calor por convección*, en $W/m^2 \cdot ^\circ C$ o $Btu/h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$, A_s es el área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección, T_s es la temperatura de la superficie y T_∞ es la temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie. Note que en la superficie la temperatura del fluido es igual a la del sólido.

El coeficiente de transferencia de calor por convección h no es una propiedad del fluido. Es un parámetro que se determina en forma experimental y cuyo valor depende de todas las variables que influyen sobre la convección, como la configuración geométrica de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido, las propiedades de éste y la velocidad masiva del mismo. En la tabla 1-5 se dan valores típicos de h .

Algunos no consideran a la convección como un mecanismo fundamental de transferencia del calor ya que, en esencia, es conducción de calor en presencia de un movimiento de fluido. Pero todavía se necesita dar un nombre a este fenómeno combinado, a menos que se desee seguir refiriéndose a él como "conducción con movimiento de fluido". Por tanto, resulta práctico reconocer a la convección como un mecanismo separado de transferencia del calor, a pesar de los argumentos válidos en contra.

EJEMPLO 1-8 Medición del coeficiente de transferencia de calor por convección

Un alambre eléctrico de 2 m de largo y 0.3 cm de diámetro se extiende a través de un cuarto a $15^\circ C$, como se muestra en la figura 1-34. Se genera calor en

ANEXO 11. Tabla de propiedades de agua saturada

TABLA A-9

Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} , kPa	Densidad, ρ, kg/m ³		Entalpia de vaporización, h _{fg} , kJ/kg	Calor específico, c _p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ, kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.98	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.95	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵	—	—	—

Nota 1: La viscosidad cinemática ν y la difusividad térmica α se pueden calcular a partir de sus definiciones, $\nu = \mu/\rho$ y $\alpha = k/\rho c_p = \nu Pr$. Las temperaturas de 0.01°C, 100°C y 374.14°C son las temperaturas de los puntos triple, de ebullición y crítico del agua, respectivamente. Las propiedades cuya lista se da arriba (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualquier presión con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

Nota 2: La unidad kJ/kg · °C, para el calor específico, es equivalente a kJ/kg · K y la unidad W/m · °C, para la conductividad térmica es equivalente a W/m · K.

Fuente: Los datos de la viscosidad y la conductividad térmica se tomaron de J. V. Sangors y J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), pp. 1291-1322. Los otros datos se obtuvieron de diversas fuentes o se calcularon.

Anexo12. Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica

TABLA A.4 Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536

Anexo 13. Propiedades de líquidos, sólidos y algunos alimentos

TABLA A-3

Propiedades de líquidos, sólidos y alimentos comunes

a) Líquidos

Sustancia	Datos de ebullición a 1 atm		Datos de congelación		Propiedades del líquido		
	Punto normal de ebullición, °C	Calor latente de vaporización h_{fg} , kJ/kg	Punto de congelación, °C	Calor latente de fusión h_{if} , kJ/kg	Temperatura, °C	Densidad ρ , kg/m ³	Calor específico c_p , kJ/kg · K
Aceite (ligero)					25	910	1.80
Agua	100	2257	0.0	333.7	0	1000	4.22
					25	997	4.18
					50	988	4.18
					75	975	4.19
					100	958	4.22
Alcohol etílico	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Amoniaco	-33.3	1357	-77.7	322.4	-33.3	682	4.43
					-20	665	4.52
					0	639	4.60
					25	602	4.80
Argón	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1394	1.14
Benceno	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
<i>n</i> -Butano	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Dióxido de carbono	-78.4*	230.5 (a 0°C)	-56.6		0	298	0.59
Etanol	78.2	838.3	-114.2	109	25	783	2.46
Etilén glicol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1109	2.84
Glicerina	179.9	974	18.9	200.6	20	1261	2.32
Helio	-268.9	22.8	—	—	-268.9	146.2	22.8
Hidrógeno	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
Isobutano	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Mercurio	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13,560	0.139
Metano	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5	423	3.49
					-100	301	5.79
Metanol	64.5	1100	-97.7	99.2	25	787	2.55
Nitrógeno	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8	809	2.06
					-160	596	2.97
Octano	124.8	306.3	-57.5	180.7	20	703	2.10
Oxígeno	-183	212.7	-218.8	13.7	-183	1141	1.71
Petróleo	—	230-384	—	—	20	640	2.0
Propano	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1	581	2.25
					0	529	2.53
					50	449	3.13
Queroseno	204-293	251	-24.9	—	20	820	2.00
Refrigerante 134a	-26.1	217.0	-96.6	—	-50	1443	1.23
Salmuera (20% de cloruro de sodio por masa)	103.9	—	-17.4	—	20	1150	3.11
					-26.1	1374	1.27
					0	1295	1.34
					25	1207	1.43

* Temperatura de sublimación. (A presiones por debajo de la presión de punto triple de 518 kPa, el dióxido de carbono existe como sólido o como gas. También, la temperatura de punto de congelamiento del dióxido de carbono es la temperatura de punto triple de -56.5°C.)

Anexo 14. Propiedades de líquidos, sólidos y algunos alimentos

TABLA A-3

Propiedades de líquidos, sólidos y alimentos comunes (*conclusión*)

b) Sólidos (los valores son para temperatura ambiente, excepto que se indique otra cosa)

Sustancia	Densidad, ρ kg/m ³	Calor específico, c_p kJ/kg · K	Sustancia	Densidad, ρ kg/m ³	Calor específico, c_p kJ/kg · K
Metales			No metales		
Acero dulce	7,830	0.500	Arena	1520	0.800
Aluminio			Arcilla	1000	0.920
200 K		0.797	Asfalto	2110	0.920
250 K		0.859	Caucho (blando)	1100	1.840
300 K	2,700	0.902	Caucho (duro)	1150	2.009
350 K		0.929	Concreto	2300	0.653
400 K		0.949	Diamante	2420	0.616
450 K		0.973	Grafito	2500	0.711
500 K		0.997	Granito	2700	1.017
Bronce (76% Cu, 2% Zn, 2% Al)	8,280	0.400	Hielo		
Cobre			200 K		1.56
-173°C		0.254	220 K		1.71
-100°C		0.342	240 K		1.86
-50°C		0.367	260 K		2.01
0°C		0.381	273 K	921	2.11
27°C	8,900	0.386	Ladrillo común	1922	0.79
100°C		0.393	Ladrillo refractario (500°C)	2300	0.960
200°C		0.403	Madera contrachapada (abeto Douglas)	545	1.21
Hierro	7,840	0.45	Maderas duras (maple, encino, etc.)	721	1.26
Latón amarillo (65% Cu, 35% Zn)	8,310	0.400	Maderas suaves (abeto, pino, etc.)	513	1.38
Magnesio	1,730	1.000	Mármol	2600	0.880
Níquel	8,890	0.440	Piedra	1500	0.800
Plata	10,470	0.235	Piedra caliza	1650	0.909
Plomo	11,310	0.128	Vidrio para ventanas	2700	0.800
Tungsteno	19,400	0.130	Vidrio pìrex	2230	0.840
			Yeso o tabla de yeso	800	1.0

c) Alimentos

Alimentos	Contenido de agua, % (masa)	Punto de conge- lación, °C	Calor específico, kJ/kg · K			Alimentos	Contenido de agua, % (masa)	Punto de conge- lación, °C	Calor específico, kJ/kg · K		
			Por encima del punto de conge- lación	Por debajo del punto de conge- lación	Calor latente de fusión, kJ/kg				Por encima del punto de conge- lación	Por debajo del punto de conge- lación	Calor latente de fusión, kJ/kg
Brócoli	90	-0.6	3.86	1.97	301	Helado	63	-5.6	2.95	1.63	210
Camarón	83	-2.2	3.62	1.89	277	Mantequilla	16	—	—	1.04	53
Carne de pollo	74	-2.8	3.32	1.77	247	Manzanas	84	-1.1	3.65	1.90	281
Carne de res	67	—	3.08	1.68	224	Naranjas	87	-0.8	3.75	1.94	291
Cerezas	80	-1.8	3.52	1.85	267	Papas	78	-0.6	3.45	1.82	261
Espinaca	93	-0.3	3.96	2.01	311	Pavo	64	—	2.98	1.65	214
Fresas	90	-0.8	3.86	1.97	301	Plátanos	75	-0.8	3.35	1.78	251
Huevo entero	74	-0.6	3.32	1.77	247	Queso suizo	39	-10.0	2.15	1.33	130
Leche entera	88	-0.6	3.79	1.95	294	Salmón	64	-2.2	2.98	1.65	214
Lechuga	95	-0.2	4.02	2.04	317	Sandía	93	-0.4	3.96	2.01	311
Maíz dulce	74	-0.6	3.32	1.77	247	Tomates (maduros)	94	-0.5	3.99	2.02	314

Fuente: Los valores han sido obtenidos de varios manuales y otras fuentes, o se han calculado. El contenido de agua y los datos de punto de congelación para alimentos provienen del ASHRAE, *Handbook of Fundamentals*, versión SI, Atlanta, Georgia, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993, Capítulo 30, Tabla 1. El punto de congelación es la temperatura a la que comienza la congelación para frutas y verduras, así como la temperatura promedio de congelación para otros alimentos.

Anexo 15. Emisividad del aluminio rugoso

23 – Tablas de emisividad

1	2	3	4	5	6
Aluminio	hoja (4 muestras con diferentes patrones de estriado)	70	OC	0,05–0,08	9
Aluminio	hoja (4 muestras con diferentes patrones de estriado)	70	OL	0,03–0,06	9
Aluminio	hoja anodizada	100	T	0,55	2
Aluminio	hoja pulida	100	T	0,05	2
Aluminio	hoja sin modificar	100	T	0,09	2
Aluminio	lámina	27	3 μm	0,09	3
Aluminio	lámina	27	10 μm	0,04	3
Aluminio	muy meteorizado	17	OC	0,83–0,94	5
Aluminio	plancha pulida	100	T	0,05	4
Aluminio	plancha sin modificar	100	T	0,09	4
Aluminio	plancha sumergida en HNO ₃	100	T	0,05	4
Aluminio	pulido	50–100	T	0,04–0,06	1
Aluminio	superficie rugosa	20–50	T	0,06–0,07	1
Amianto	baldosa	35	OC	0,94	7
Amianto	papel	40–400	T	0,93–0,95	1
Amianto	pizarra	20	T	0,96	1
Amianto	placa	20	T	0,96	1
Amianto	polvo		T	0,40–0,60	1
Amianto	tela		T	0,78	1
Arcilla	cocida	70	T	0,91	1
Arena			T	0,60	1
Arena		20	T	0,90	2
Arenisca	pulido	19	OML	0,909	8
Arenisca	rugoso	19	OML	0,935	8