

DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN EN MARMITAS AUTOGENERADORAS DE VAPOR COMO ALTERNATIVA PARA PROMOVER SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DESCENTRALIZADO EN APLICACIONES DE PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS

Víctor José Manrique Moreno

Grupo de Investigación en Fluidos y Energía GIFE. Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de Gas. Parque Tecnológico UIS Guatiguará. Km 2 vía El Refugio. Piedecuesta. Santander. Colombia

Resumen: Los esquemas de calentamiento descentralizado ofrecen oportunidades de flexibilidad y eficiencia en diversos procesos industriales, frente a los esquemas de calentamiento centralizado. De esta forma es posible reemplazar, por ejemplo, una red de distribución de vapor al interior de una planta, por una red interna de distribución que suministre gas natural a un quemador en cada equipo o unidad de proceso. En particular, para el sector de procesamiento de alimentos a escala semi-industrial y comercial, las marmitas autogeneradoras de vapor son una alternativa para la implementación de estos esquemas. Este artículo presenta los antecedentes y avances en desarrollo tecnológico por parte de CDT de GAS, de un innovador prototipo de marmita autogeneradora de vapor, a gas natural, así como los resultados de evaluación de su desempeño energético.

Palabras clave: *sistema de calentamiento descentralizado, sistema de calentamiento centralizado, marmita autogeneradora de vapor, eficiencia energética*

1. INTRODUCCIÓN.

En Colombia, el sector industrial representa el 24 % de la demanda final de energía, la cual se caracteriza por un uso principalmente térmico. Esta energía térmica es suministrada por carbón (35 %) y gas natural (28 %) entre otros combustibles [1].

De acuerdo con el diagnóstico del Plan Indicativo PROURE 2010-2015, las mayores ineficiencias en la industria colombiana están asociadas a la obsolescencia tecnológica de los equipos térmicos y eléctricos (principalmente calderas y motores de baja eficiencia), al uso de sistemas de calentamiento indirecto en los procesos, y a la falta de buenas prácticas operacionales y de gestión de energía. En relación a esta problemática se han desarrollado numerosos mecanismos e incentivos para

promover la eficiencia energética, incluyendo la optimización de procesos de combustión y del uso de calderas [2].

Recientemente la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) con Colciencias, han patrocinado estudios de caracterización de los consumos energéticos de diferentes procesos, usos y equipos en sectores manufactureros. Estos estudios han permitido determinar, por ejemplo, que en los sectores manufactureros como alimentos y bebidas, tabaco, textiles, cuero, madera, papel y cartón, el uso de energía térmica representa hasta el 82 % de su demanda total de energía, y se emplea en gran medida para generación de vapor. Así mismo, se han identificado las siguientes acciones, como prioritarias para mejorar la eficiencia energética en el sector industrial [3]:

- Incremento de la eficiencia energética en calderas pirotubulares con combustibles gaseosos, principalmente de gas natural.
- Implementación de sistemas de calentamiento directo, y de calentamiento descentralizado

Este artículo presenta las marmitas autogeneradoras de vapor, a gas natural como una tecnología para la cocción de alimentos a nivel comercial y semi-industrial, que permite la migración de sistemas de calentamiento

centralizado (caldera de vapor) hacia sistemas descentralizados (marmitas autogeneradoras de vapor) basados en gas natural.

El prototipo de marmita desarrollada por CDT de GAS está dirigido principalmente a las PyMEs de procesamiento de dulces semielaborados de fruta y leche, y cocinas institucionales y comerciales. De esta forma, el CDT de GAS busca llevar al mercado una solución tecnológica apropiada, eficiente y accesible que impulse su competitividad y sostenibilidad integral de sus sectores de interés.



1.1 Sistemas de calentamiento descentralizado

En un sistema centralizado de suministro de calor, generalmente se genera vapor en una caldera, y se transporta a través de tuberías hasta cada equipo o unidad de proceso de la planta (ver Figura 1).

Estos esquemas centralizados son útiles en grandes plantas basadas en combustibles sólidos o líquidos, en donde no es posible distribuir el combustible a cada equipo de proceso que demanda calor. Sin embargo, presentan las siguientes desventajas:

- Requieren redes de distribución de vapor.
- Requieren generar vapor a presiones relativamente altas, para atender diferentes presiones de operación, y vencer las pérdidas por distribución.
- El sistema central debe operar siempre, incluso si la demanda es menor que la proyectada.

1.2 Sistemas de calentamiento descentralizado

Como se mencionó anteriormente, una de las acciones prioritarias identificadas para mejorar la eficiencia energética en el sector industrial es la implementación de sistemas de calentamiento descentralizado [4].

Los sistemas de calentamiento descentralizado permiten satisfacer las demandas de calor a partir de gas natural, mediante un quemador ubicado directamente en cada proceso o equipo. De esta manera, es el combustible el que se distribuye al interior de la planta como portador energético, y no el vapor (Figura 2).

Algunas ventajas que presentan los sistemas de calentamiento directo y descentralizado con respecto a los sistemas centralizados basados en calderas de vapor son los siguientes:

- Mayor eficiencia porque no existen pérdidas de energía por transporte y reducción de presión del vapor.
- Mayor eficiencia energética porque los sistemas operan a carga nominal, en un sistema centralizado la caldera puede operar a carga parcial cuando algún proceso demandante de vapor está inactivo.
- Se mejora la productividad de los procesos porque se garantiza una disponibilidad más rápida del calor, en un sistema centralizado ocurren tiempos muertos para llevar la caldera a régimen [4].

Adicionalmente, un esquema descentralizado permite operar con presiones de vapor más bajas respecto a las requeridas con una sistema

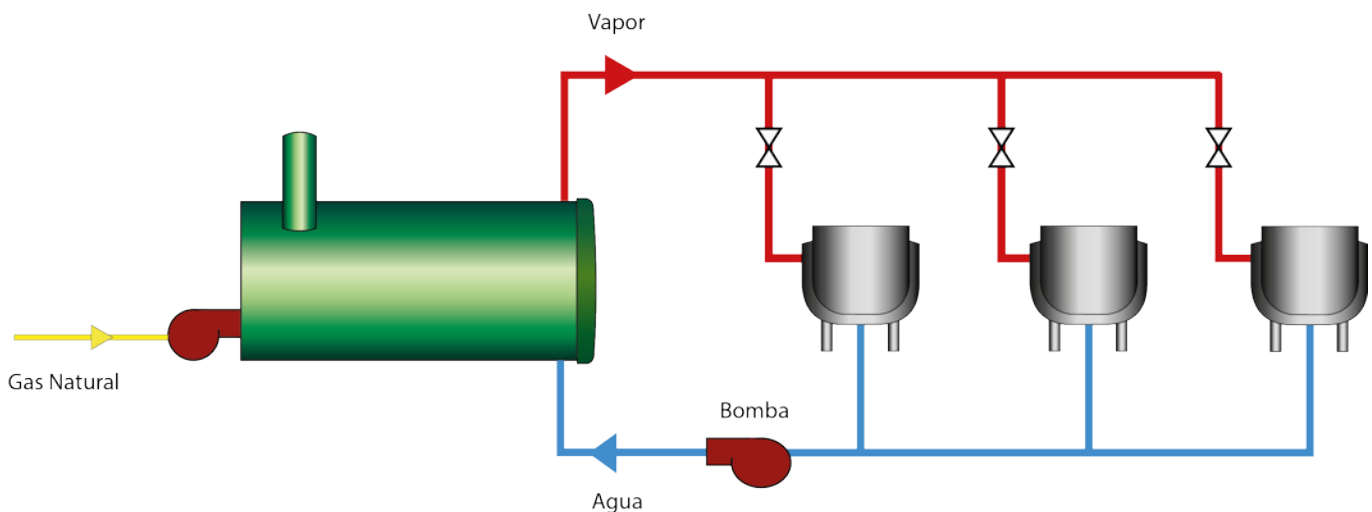
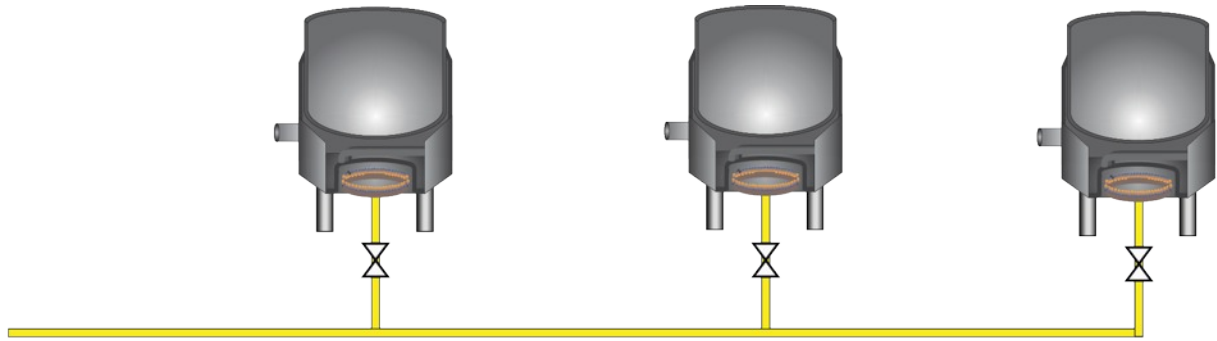


Figura 1. Esquema de calentamiento centralizado. El vapor generado en una caldera central se distribuye a cada unidad/equipo del proceso.



Gas Natural

Figura 2. Esquema de calentamiento descentralizado. El combustible (gas natural) se distribuye hasta cada unidad/equipo, en donde se calienta localmente.

centralizado de caldera, con los consecuentes ahorros de energía [5].

2. MARMITAS DE VAPOR DIRECTO VS MARMITAS AUTOGENERADORAS DE VAPOR

Una marmita es un recipiente metálico de forma semi-esférica, para la cocción de alimentos u otros productos. Las marmitas se diferencian de otros recipientes porque cuentan con una doble pared o "chaqueta" por donde se hace circular un fluido térmico (generalmente, vapor de agua) el cual permite calentar de forma indirecta el producto a una temperatura controlada (limitada a 100°C-150°C), en función de la presión de saturación del vapor circulante.

El agua que se condensa al interior de la marmita se evacúa y retorna a la caldera por bombeo, para volver a generar vapor. En este caso, se denomina "marmita de vapor directo", y opera en un sistema de calentamiento centralizado.

Por su parte, una "marmita autogeneradora de vapor" es una variante de las marmitas de vapor directo, en donde la chaqueta de vapor se modifica para permitir que contenga una cantidad fija de agua (para generación de vapor), y se acondiciona un sistema de calentamiento por combustión de gas natural o por resistencias eléctricas [6].

Dado que el vapor se condensa dentro de la misma chaqueta en donde se evapora, todo el condensado se recupera y está disponible inmediatamente para ser evaporado nuevamente (sin necesidad de sistemas de bombeo o líneas adicionales).

En el caso de calentamiento por combustión de gas natural, el aprovechamiento óptimo de la energía está determinada por la eficiencia del intercambiador de calor entre los gases de combustión y el agua de vaporización.

El diseño de este intercambiador de calor debe permitir una alta eficiencia (maximizando el área de transferencia de calor y el tiempo de permanencia de los gases) pero además debe integrarse completamente dentro del cuerpo de la marmita, junto con los componentes de control y seguridad y combustión. Así mismo, debe cumplir los requerimientos de resistencia a la presión y temperatura de operación, y a la corrosión.

2.1 Antecedentes Históricos.

La primera marmita (de vapor directo) fue patentada por Edward Witheley en 1881 en Estados Unidos (Patente US251751 A). Sin embargo, algunas fuentes atribuyen el crédito de la invención a Alfred Groen, quien en la década de 1890 comenzó una fábrica de marmitas

llamada Groen Co. la cual actualmente opera bajo el nombre Unified Brands (Figura 3).

La marmita de Witheley consiste en la forma básica junto con el principio de operación de una "marmita de vapor directo" convencional.

En 1905, George Dickson obtuvo la primera patente de una marmita autogeneradora de vapor (Patente US 798498 A), como su nombre lo indica, genera por sí misma el vapor que necesita y por tanto permite prescindir de la caldera (Figura 4).

A partir de esta invención, durante el siglo XX surgen diferentes variaciones e innovaciones en cuanto a la forma de calentamiento (gas, eléctrica,

o vapor directo), el estilo (fija o volcable) y las facilidades adicionales, como por ejemplo diferentes sistemas de agitación, o de drenaje.

2.2 Contexto Internacional

Actualmente Cleveland Range y Unified Brands (Groen) son los fabricantes líderes en innovación y producción de marmitas autogeneradoras de vapor en Estados Unidos. Cada compañía ofrece modelos de marmitas de vapor directo y marmitas autogeneradoras tanto en versión eléctrica, como a gas.

Los modelos más recientes de marmitas de Groen (<http://www.unifiedbrands.net/>) se basan en la

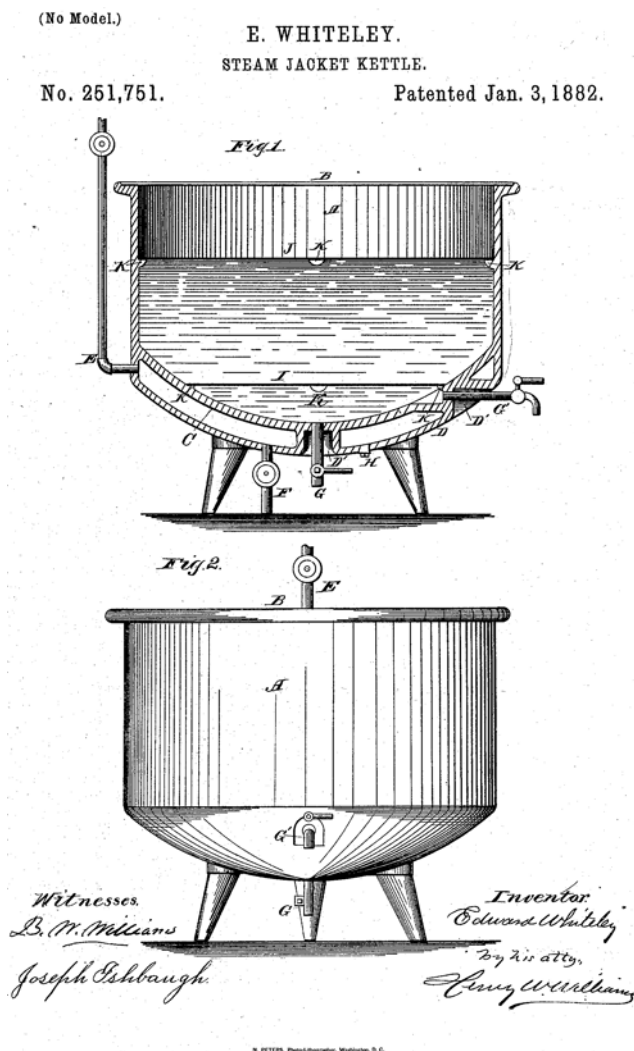


Figura 3. Marmita de vapor directo de Witheley, 1882 [7].

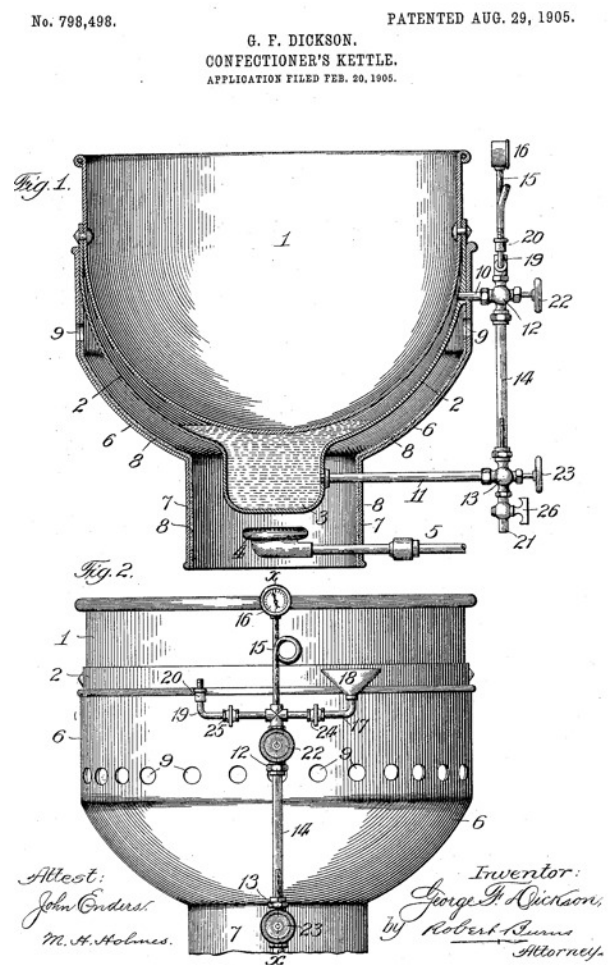


Figura 4. Marmita autogeneradora de vapor de Dickson - 1905 [8].

patente US4343292 A de 1982, y otras patentes anteriores. En este diseño, la generación de vapor ocurre dentro de una serie de tubos aleteados, que toman el agua desde la parte inferior de la chaqueta de vapor, y la conducen al exterior de la marmita, donde se calientan por los gases de combustión provenientes de un arreglo de quemadores tipo boquillas. El vapor producido es conducido por los mismos tubos hasta la parte superior de la chaqueta de vapor (concepto de caldera "acuatubular") (ver Figura 1).

Por su parte, los modelos actuales de Cleveland Range (www.clevelandrange.com) se basan principalmente en la patente US 5524608 A de 1996 y otros patentes anteriores. En este diseño, los gases de combustión se dirigen mediante tubos al interior de la marmita, donde calientan el agua para generación de vapor (concepto de caldera "pirotubular") y finalmente salen por un ducto de evacuación. Ver Figura 2.

Otras empresas internacionales que dentro de su portafolio de productos incluyen marmitas autogeneradoras de vapor, con calentamiento a gas, (basadas en las anteriores patentes u otras) son:

- Electrolux (<http://professional.electrolux.com/>)
- Fagor (<http://www.fagorindustrial.com/>)
- Vulcan Equipment (www.vulcanequipment.com/?)
- Hamilton Kettles (www.vulcanequipment.com/?)
- Southbend (www.southbendnc.com/steam-kettles.html?)
- Legion Industries (www.legionindustries.com)
- Firex (www.firexkettles.com)
- Ozti (<http://www.ozti.com.tr/>)
- Zanussi (www.zanussiprofessional.es)

Estos fabricantes se destacan por la altísima calidad de manufactura y materiales de sus equipos,

robustez de sus sistemas de control y seguridad, y por establecer el estado del arte en desempeño energético. Sin embargo, los precios de lista en EEUU se encuentran entre los USD 15 000 a USD 25 000 para modelos autogeneradores con capacidad nominal entre 25 y 40 gal (100 a 150 litros [9]), lo cual hace que estén por fuera de alcance para un segmento de mercado nacional que podría beneficiarse de esta tecnología.

2.3 Fabricantes Nacionales

En Colombia existen varias empresas metalmecánicas y fabricantes de equipos para cocina que producen y comercializan marmitas de vapor directo principalmente, y algunos modelos a gas, entre las que se pueden destacar las siguientes:

- Industrial Taylor (www.industrialtaylor.com.co)
- Citalsa (www.citalsa.com)
- Joserrago ([joserrago.com.co](http://www.joserrago.com.co))
- MGC & Cia (<http://www.mgc.com.co/marmitas.asp>)
- Pallomaro (www.pallomaro.com)
- Gas y Gas (<http://www.gasygasmed.com/marmitas/>)

Algunas de estas empresas son distribuidores de marmitas y otros equipos de cocción de grandes fabricantes norteamericanos como Groen y Cleveland Range, o de fabricantes europeos como Fagor. Su mercado está orientado hacia las grandes cocinas institucionales como por ejemplo hospitales, batallones, cadenas de restaurantes, y cadenas de hoteles, debido a los costos relativamente altos.

Otras empresas han desarrollado sus propias versiones de marmitas autogeneradoras de vapor, que comercializan desde USD 5 000 dependiendo del tamaño y características especiales. Sin embargo, en general no se ha encontrado que dentro de su documentación se incluyan parámetros de desempeño energético (como por ejemplo: eficiencia energética, o tiempo de

calentamiento) que hayan sido medidas bajo procedimientos normalizados. Estos parámetros son necesarios para brindar confiabilidad en el proceso de selección garantizando un desempeño energético que optimice los costos de operación.

2.4 Trayectoria de desarrollo de marmitas en CDT de GAS.

Desde 2010, a partir de una iniciativa propia cofinanciada por Colciencias, el CDT de GAS ha desarrollado dos prototipos de marmita autogeneradora de vapor con el objetivo de desarrollar tecnología nacional que contribuya a cerrar la brecha entre las marmitas autogeneradoras de "alta gama" de fabricantes internacionales, y las necesidades de las pequeñas y medianas empresas nacionales, principalmente de sectores como la

confitería tradicional (dulces semielaborados a base de fruta y/o leche).

Cada uno de los prototipos implementó un sistema de intercambiador de calor diferente. El segundo sistema (2013) permitió lograr un incremento significativo en la eficiencia de calentamiento (63 %) frente a la eficiencia del primer prototipo (54 %) [10]. Finalmente, en 2015 se han incorporado mejoras en el sistema de control y seguridad.

Dada la importancia del intercambiador de calor para el desempeño energético de este prototipo de marmita, los esfuerzos de desarrollo tecnológico se han enfocado en este componente. A continuación se describe este componente, y algunos aspectos importantes a considerar para la evaluación de su desempeño energético.

3. DESARROLLO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

Como se ha mencionado, el intercambiador tiene como objetivo aprovechar el calor generado por los gases de combustión (producidos por quemadores de gas) para calentar agua y generar vapor dentro de la marmita autogeneradora de vapor.

Conceptualmente, este intercambiador de calor (patente en trámite) está conformado por dos cámaras (1: la cámara de combustión, 2: la chaqueta de gases) unidas por un arreglo de tubos que transfieren los gases de combustión desde la cámara 1 a la cámara 2. Este diseño se conoce como "pirotubular" porque los gases de combustión van a través de estos tubos, y el fluido que se está calentando (en este caso: agua para generar vapor) está por fuera de los tubos. De esta forma, se presenta un medio dinámico (gases que fluyen desde la cámara de combustión, a través del intercambiador de calor) y un medio estático (agua de vaporización).

El intercambiador de calor está compuesto por las siguientes partes (Figura 5):

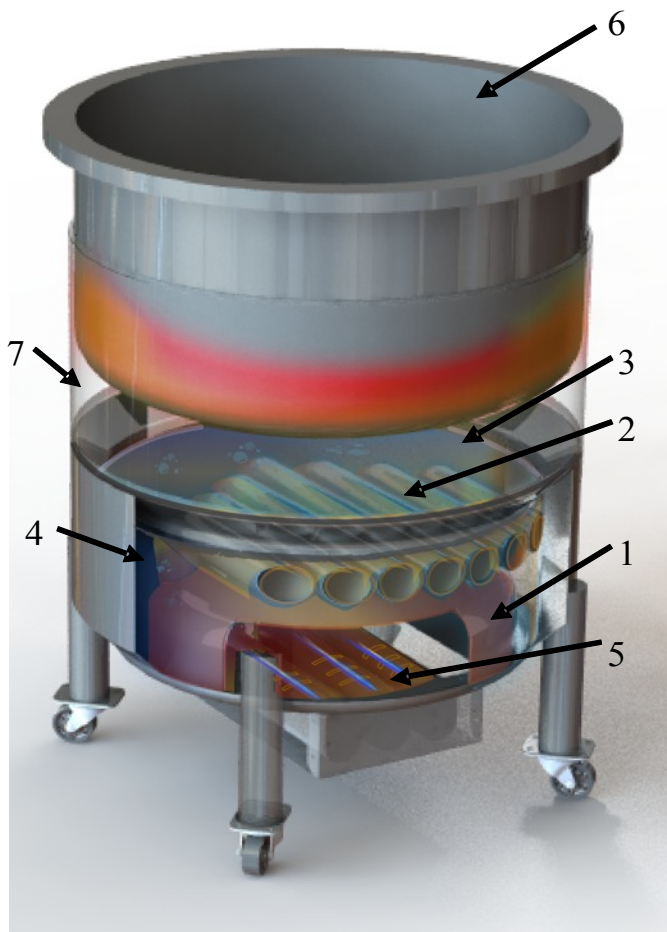


Figura 5. Marmita de CDT de GAS

El intercambiador de calor está compuesto por las siguientes partes (Figura 3):

- **Cámara de combustión** (1): En esta cámara se desarrolla la combustión del gas natural. La cámara de combustión aloja en su parte inferior, uno o más quemadores de gas (5).
- **Tubos de calor** (2): Son tubos preferiblemente de sección circular, que están ubicados en la parte superior de la cámara de combustión, y evacuan los gases de combustión, hacia la chaqueta de gases.
- **Recipiente de agua de vaporización** (3). El conjunto de cámara de combustión y tubos de calor está inmerso dentro de un recipiente cilíndrico. Este recipiente contiene agua que al calentarse genera el vapor requerido por la marmita autogeneradora.
- **Chaqueta de gases** (4). El recipiente que contiene el agua para vaporización está rodeado por una sección cilíndrica o "chaqueta". El espacio anular entre el recipiente de agua de vaporización, y la propia chaqueta de gases, define la cámara 2 mencionada anteriormente. La chaqueta tiene una ventana que permite la salida de los gases hacia un ducto de escape o chimenea. Otros elementos constitutivos de una marmita son el recipiente que contiene el producto a procesar (6) y la chaqueta de vapor (7).

3.1 Requisitos adicionales de seguridad y control.

Una marmita debe considerar además los requerimientos de control y seguridad de la norma ASTM F1602 -12 o ASTM F1603-12 según su tamaño, y del Código ASME de Calderas y Recipientes a Presión (Sección VIII, División I, Partes: UG, UHA, UW y Apéndices: 9 y 19), así como las Normas Técnicas Aplicables para equipos a gas comerciales.

En general, el prototipo de CDT de GAS ha sido diseñado considerando estos requisitos, y está equipado con:

- Un tren de combustión de gas, incluyendo un sistema de encendido automático, y un sensor de llama y una válvula de corte automática en caso de apagado de los quemadores,
- Una válvula de seguridad,
- Un visor de nivel de agua,
- Un termostato con sensor e indicador de temperatura,
- Un sensor e indicador de presión (manovacuumetro).

4. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

4.1 Eficiencia de Calentamiento. – (Heating Efficiency)

La eficiencia energética en una marmita es la relación entre la energía efectiva que calienta el producto que se está procesando y la energía que fue suministrada en forma de combustible. Esta eficiencia (*Heating Efficiency*) se determina mediante el procedimiento normalizado ASTM F1785 y se define como:

$$\text{Heating Efficiency} = \frac{m * C_p * (T_f - T_i)}{V_{std} * PC}$$

En donde:

- *m*: masa de agua correspondiente al 90% de la capacidad a rebose de la marmita
- *C_p*: Calor específico del agua
- *T_f*: Temperatura Final: 70°C
- *T_i*: Temperatura Inicial: 25°C
- *V_{std}*: Volumen de gas utilizado corregido a condiciones estándar
- *PC*: Poder calorífico del gas, a condiciones estándar

La Corporación CDT de GAS ha evaluado eficiencias de calentamiento de $63,8 \pm 1 \%$ (mediante procedimiento ASTM F1785) para su

prototipo de 40 gal, lo cual es muy cercano al estado del arte en desempeño energético de marmitas de su clase (65 %) [11].

4.2 Eficiencia de generación de vapor – (Boiler Efficiency)

Una forma de evaluar el desempeño del intercambiador de calor dentro de la marmita, es mediante el parámetro *Boiler Efficiency* el cual se define como la relación entre la energía utilizada para generación de vapor, y la energía suministrada en el combustible.

De forma indirecta (como se describe en ASME PTC4.1), el parámetro *Boiler Efficiency* puede evaluarse sustrayendo del 100% de la energía contenida en el gas, las diferentes pérdidas de energía

$$\text{Boiler Efficiency} = 100\% - \sum \text{Pérdidas}$$

La sumatoria de pérdidas incluye:

1. gas no quemado (ineficiencia de combustión)
2. energía sensible de los gases (secos) en la chimenea, en función de su temperatura
3. energía latente y sensible del vapor de agua formado tras la combustión (presente en los gases de combustión), y
4. otras pérdidas debidas a convección, radiación, y conducción (por ejemplo: calentamiento de la propia marmita), excluyendo la transferencia de calor (por condensación del vapor y conducción) hacia el recipiente, pues no es una pérdida sino una transferencia de la operación normal.

La Corporación CDT de GAS ha evaluado de forma indirecta la eficiencias de caldera de sus prototipos con resultados entre 89 y 84 % para temperaturas de salida de los gases de combustión entre 164 °C a 210 °C respectivamente y excesos de aire entre 15 y 20 % [11].

4.3 Consumo de gas a fuego lento (Simmer Energy Rate)

El consumo de gas a fuego lento es un parámetro que caracteriza la demanda de gas para conservar una temperatura establecida, a lo largo del tiempo. Es importante para productos que deben procesarse o mantenerse a temperaturas estables, durante un largo período de tiempo. La marmita incorpora un control de temperatura ON/OFF que opera el sistema de combustión. Cuando el producto alcanza la temperatura deseada, los quemadores se apagan, cuando la temperatura desciende los quemadores se encienden nuevamente para incrementar la temperatura al punto establecido.

El parámetro Simmer Energy Rate se evalúa de acuerdo a ASTM F1785 como el caudal de gas promedio, para mantener la marmita llena de agua (al 90 % de su capacidad a rebose) a una temperatura de 70 ± 5 °C durante 3 horas.

La Corporación CDT de GAS ha evaluado (bajo procedimiento ASTM F1785) que el caudal del consumo de gas (aparente) a fuego lento para sus marmitas es del 13 % de la potencia máxima nominal.[11]

CONCLUSIONES

- Las marmitas autogeneradoras de vapor son una alternativa tecnológica para sistemas de calentamiento descentralizado, frente a los sistemas de calentamiento centralizado tradicionales. En este caso, es el gas natural como portador energético el fluido que se distribuye al interior de la planta, y no el vapor.
- CDT de GAS ha desarrollado con el apoyo de Colciencias, un prototipo comercial de marmita autogeneradora de vapor, con una eficiencia de calentamiento de 63 %. No es posible comparar esta eficiencia en relación a otros fabricantes nacionales,

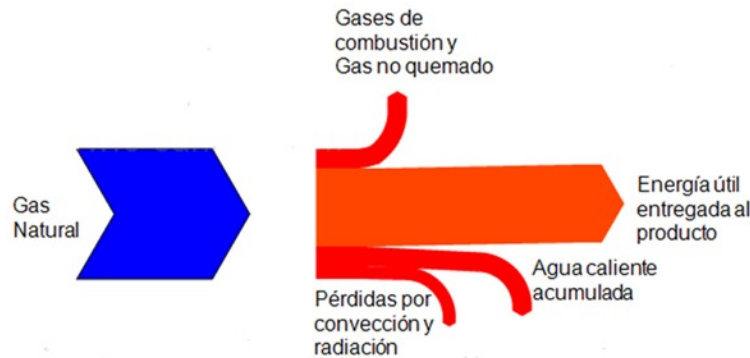


Figura 6. Distribución de la energía en la marmita

debido a que no se ha encontrado que este parámetro no sea evaluado o reportado. Por otra parte, la eficiencia alcanzada es similar a la eficiencia de calentamiento de fabricanes estadounidenses, como Cleveland Range (65 %).

- Este nuevo producto está dirigido a PyMES del sector de alimentos como por ejemplo: empresas tradicionales que producen dulces semielaborados de fruta y dulce, y para cocinas institucionales.
- En una marmita autogeneradora de vapor, es importante considerar varios parámetros de eficiencia energética los cuales inciden en los costos de operación. La eficiencia de calentamiento (Heating Efficiency), eficiencia de caldera (Boiler Efficiency) y el consumo a fuego lento (Simmer Energy Rate) son parámetros que permiten caracterizar y comparar el desempeño energético de diversas marmitas.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Corporación CDT de GAS y a Colciencias por su patrocinio a través de la Convocatoria 642 de 2013. (Contrato 175-2013)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050. Unidad de Planeación Minero Energética UPME; 2015. http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN_IdearioEnergético2050.pdf.

2. PROURE Plan de Acción Indicativo 2010-2015. Bogotá - Colombia: Unidad de Planeación Minero Energética UPME; 2010. <http://www.si3ea.gov.co/Portals/2/plan.pdf>.

3. Arrieta AA. Oportunidades de mejoramiento de la eficiencia térmica en procesos industriales. September 2014. http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/Memorias%20Eventos/Eficiencia%20Energética/8_EFICIENCIA%20ENERGÉTICA%20TERMICA%20EN%20PROCESOS%20INDUSTRIALES_UDEA.pdf.

4. Arrieta AA. Energía, Economía y Medio Ambiente en procesos Industriales. Medellín: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia; 2007. http://www.metropol.gov.co/ProduccionLimpia/Documents/Usos%20eficiente%20Energía/Economía_energía_medio_ambiente.pdf.

5. Steam Pressure Reduction: Opportunities and Issues. Washington: U.S. Department of Energy. EERE; 2005. <http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/37853.pdf>.

6. Fisher D. Commercial Cooking Appliance Technology Assessment. San Ramon CA 94583: Food Service Technology Center; 2002. http://www.fishnick.com/equipment/techassessment/Appliance_Tech_Assessment.pdf.

7. Whiteley E. Steam-jacket kettle. June 1882. <http://www.google.com/patents/US251751>.

8. Dickson GF, Confectioners And Bakers Supply Co. Confectioner's kettle. Agosto 1905. www.google.com/patents/US798498.

9. Cleveland KGL-40 40 Gallon Stationary 2/3 Steam Jacketed Gas Kettle - 140,000 BTU. Webrestaurantstore.com. <http://www.webrestaurantstore.com/cleveland-kgl-40-40-gallon-stationary-2-3-steam-jacketed-gas-kettle-140-000-btu/390KGL40.html>. Published October 15, 2010. Accessed October 15, 2010.

10. Manrique V. Diseño y Construcción de una Marmita Autogeneradora de Vapor, como alternativa para la Reconversión Tecnológica de la Industria del Bocado Veleño en Santander. 2011. <http://www.uis.edu.co/>.

11. Manrique V, García L, Alfonso J. Experimental evaluation of energy efficiency in a gas-heated self-contained steam jacketed kettle. IOP Conf Ser Mater Sci Eng. 2014;59:012009. doi:10.1088/1757-899X/59/1/012009.